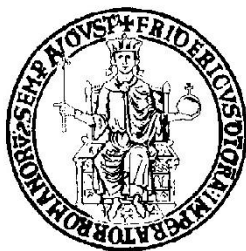


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Facoltà di Ingegneria

Dottorato di ricerca in Ingegneria dei Sistemi Idraulici, di Trasporto e
Territoriali

Indirizzo: "INFRASTRUTTURE VIARIE E SISTEMI DI
TRASPORTO" - ciclo XXIV

Candidato

Roberta Vitillo

Titolo della Tesi

**Potenzialità e impatti dell'intermodalità nel bacino Euro-
Mediterraneo: sviluppi teorici e prospettive operative**

Coordinatore di dottorato:

Prof. Ing. Guelfo Pulci Doria

Coordinatore di indirizzo:

Prof. Ing. Bruno Montella

Relatore:

Prof. Ing. Andrea Papola

Correlatore:

Ing. Vittorio Marzano

Controrelatore:

Prof. Ing. Armando Carteni

INDICE

INDICE.....	2
1	INTRODUZIONE.....5
1.1	Obiettivi e contenuti della ricerca 5
1.2	Intermodalità marittima e ferroviaria in ambito Euro-Mediterraneo 10
1.2.1	Short-sea shipping 10
1.2.2	Intermodalità ferroviaria..... 11
1.3	DSS a scala Euro-Mediterranea: uno stato dell'arte 17
2	MODELLO DI OFFERTA .....21
2.1	Introduzione.....21
2.2	Stato dell'arte .....21
2.2.1	Considerazioni generali .....21
2.2.2	Modelli di offerta per il trasporto merci .....29
2.3	Implementazione del modello di offerta .....32
2.3.1	Area di studio e zonizzazione.....32
2.3.2	Modello di offerta stradale .....36
2.3.3	Modello di offerta marittimo.....55
2.3.4	Modello di offerta ferroviario.....72
2.3.5	Modello di offerta per la navigazione interna .....81
2.3.6	Integrazione dei modelli monomodali.....84
2.3.7	Codifica del modello di offerta .....90
3	MODELLO DI DOMANDA .....91
3.1	Introduzione.....91

3.2	Basi dati per la mobilità merci a scala Euro-Mediterranea	94
3.2.1	Matrici o-d	94
3.2.2	Altri dati di flussi merci.....	99
3.3	Un modello gravitazionale per l'area Euro-Mediterranea.....	100
3.3.1	Inquadramento generale	100
3.3.2	Stato dell'arte	105
3.3.3	Specificazione e calibrazione del modello gravitazionale	116
3.4	Pivoting delle matrici o-d e provincializzazione	121
3.5	Modello di scelta modale	123
3.5.1	Introduzione.....	123
3.5.2	Stato dell'arte	124
3.5.3	Modelli utilizzati nell'ambito della ricerca	126
3.6	Procedure di interazione-domanda offerta	130
3.7	Modello MRIO	133
3.7.1	Cenni teorici	133
3.7.2	Un modello MRIO per il DSS	139
4	APPLICAZIONI	142
4.1	Introduzione.....	142
4.2	Mercato intermodale ferroviario nazionale e internazionale dell'Italia	144
4.2.1	Analisi dello scenario pre-crisi economica: traffici nel biennio 2007-2008	144
4.2.2	Analisi dello scenario di domanda intermodale ferroviaria al 2010 e al 2015	155
4.3	Competitività dei porti italiani rispetto a quelli del nord Europa.....	167

4.4	Analisi delle potenzialità dello SSS nel Mediterraneo.....	174
4.4.1	Studio di fattibilità di un collegamento Ro-Ro tra Sud Italia e Albania	175
4.4.2	Studio di fattibilità di un collegamento Ro-Ro tra Italia e Marocco	191
4.5	Analisi dei traffici stradali sui corridoi pan-europei nei Balcani	203
5	PROSPETTIVE SULL'INTERAZIONE TRA TRASPORTO MERCI ED ECONOMIA	206
5.1	Introduzione.....	206
5.2	Relazioni tra trasporti, logistica, consumo e produzione industriale	206
5.3	Dai modelli MRIO verso la NEG.....	212
5.4	Conclusioni.....	220
6	CONCLUSIONI.....	222
	BIBLIOGRAFIA	227

1 INTRODUZIONE

1.1 Obiettivi e contenuti della ricerca

Il principale obiettivo della presente ricerca è la messa a punto di un sistema di supporto alle decisioni (DSS, *decision support system*) per la progettazione e per la valutazione degli impatti economici di interventi sul sistema di trasporto merci nel bacino Euro-Mediterraneo, con particolare riferimento all'intermodalità ferroviaria ed ai servizi marittimi di *short-sea shipping* (SSS). Con esso si intende quindi supportare in maniera efficace e innovativa le attività di settore nell'ottica dei soggetti sia pubblici sia privati. Per quanto riguarda il pubblico, esempi applicativi sono sostenere lo sviluppo economico e il sistema produttivo, migliorare l'accessibilità territoriale e supportare la sostenibilità del sistema di trasporto merci, definire la pianificazione delle infrastrutture. Per il privato, esempi sono la progettazione di nuovi servizi economicamente redditizi, la definizione del miglior assetto localizzativo e trasportistico della supply chain, la progettazione di reti di distribuzione. Naturalmente, tutte queste problematiche si riferiscono ad una copertura geografica notevolmente ampia, in conseguenza della tendenza evolutiva dell'economia mondiale verso la globalizzazione e delle caratteristiche proprie dei fenomeni di riferimento. Dunque, il tema della modellazione di sistemi di trasporto merci a scala vasta è di attuale interesse a livello di Unione Europea, sia per le ricadute pratiche sia per le necessità di sviluppi teorici che richiede.

Da un punto di vista pratico, la UE riconosce il ruolo fondamentale del trasporto marittimo come elemento chiave del sistema di trasporto merci, con circa il 90% dei traffici da e verso l'Unione Europea realizzati via mare. Infatti, all'interno del programma di sviluppo delle reti TEN-T, che costituiscono le infrastrutture di trasporto principali dell'Unione, sono esplicitamente inseriti quattro corridoi di cosiddette "autostrade del mare", con l'obiettivo di migliorare i collegamenti esistenti e stabilirne di nuovi, che siano redditizi, regolari e frequenti; inoltre nel Giugno 2010 la stessa UE ha definito la core network dei porti, identificando circa quaranta cluster portuali. Ciò riveste particolare importanza anche alla luce delle iniziative di creazione di zone di libero scambio con i paesi nordafricani (accordi di Barcellona, 1995 e Unione per il Mediterraneo di Sarkozy, 2008). Ci si attende quindi un sostanziale incremento di domanda proprio sulle direttrici che più efficacemente possono essere servite via mare. Inoltre sta assumendo sempre più rilevanza la problematica del

rilancio dell'intermodalità ferroviaria per rendere più efficace e sostenibile l'inoltro terrestre dei traffici marittimi. A tal proposito la Commissione Europea ha approvato nel 2003 un programma di finanziamento dei progetti privati ("Marco Polo") a sostegno, oltre che della modalità ferroviaria e di quella idroviaria in aggiunta allo SSS, anche dell'intermodalità, con lo scopo principale di ridurre il trasporto internazionale di merci via strada ed evitare il traffico.

Da un punto di vista teorico, a fronte di queste esigenze, appare ancora carente la disponibilità di strumenti efficaci che simulino in maniera corretta la competitività dello SSS e dell'intermodalità ferroviaria su un'area vasta come quella oggetto di studio e che consentano di simulare in maniera integrata il sistema di trasporto multimodale e intermodale: ad esempio, tali modelli devono essere in grado di rappresentare la competizione con altri modi di trasporto e dovrebbero spingersi ad un livello di dettaglio tale da consentire la scelta anche tra porti o tra terminali molto ravvicinati tra loro. In tal senso, l'UE ha promosso lo sviluppo di numerosi strumenti nell'ambito dei vari Programmi Quadro di finanziamento alla ricerca (paragrafo 1.3), sintetizzandoli poi nel modello TRANSTOOLS che è oggi considerato il riferimento per la simulazione del sistema di trasporto a scala europea e che viene gestito dal centro di ricerca JRC di Siviglia. Come si dirà tra breve, però, questo modello presenta una serie di approssimazioni di approccio, lato offerta e lato domanda, che lo rendono non utile per i fini applicativi di cui si è detto e che si illustreranno nel corso della ricerca.

A fronte di queste premesse, la ricerca vuole approfondire alcune rilevanti problematiche di modellazione della domanda e dell'offerta di trasporto, nonché dei modelli per la valutazione degli impatti economici di interventi sul sistema di trasporto, così da poter poi mettere a punto un modello di simulazione del sistema di trasporto merci a livello Euro-Mediterraneo. Al fine di chiarire in maggior dettaglio i contenuti della ricerca, si propone innanzitutto in Figura 1 uno schema funzionale del DSS che si intende implementare. In particolare, la prima componente del sistema di modelli è rappresentata dal modello di offerta, che restituisce i costi generalizzati di trasporto su ciascuna coppia o-d, costi che, inseriti nel modello di domanda implementato in un secondo momento, permettono di ricavare le matrici dei flussi merceologici tra i vari Stati dell'area di studio. Tali flussi possono essere utilizzati come input del modello MRIO, che fornisce le variazioni di produzione economica e di PIL per effetto di variazioni dei flussi di trasporto merci, a livello sia nazionale (per le regioni italiane) sia UE. Inoltre gli output di entrambi i modelli di offerta e di domanda, possono essere utilizzati come input del modello di scelta modale e del modello di assegnazione, così

da ottenere i flussi su rete per modo di trasporto. Questi ultimi alimentano i modelli di impatto ambientale, che permettono di ricavare le emissioni di inquinanti; tali modelli sono di consolidata applicazione, pertanto non costituiscono oggetto di ricerca nell'ambito della tesi di dottorato.

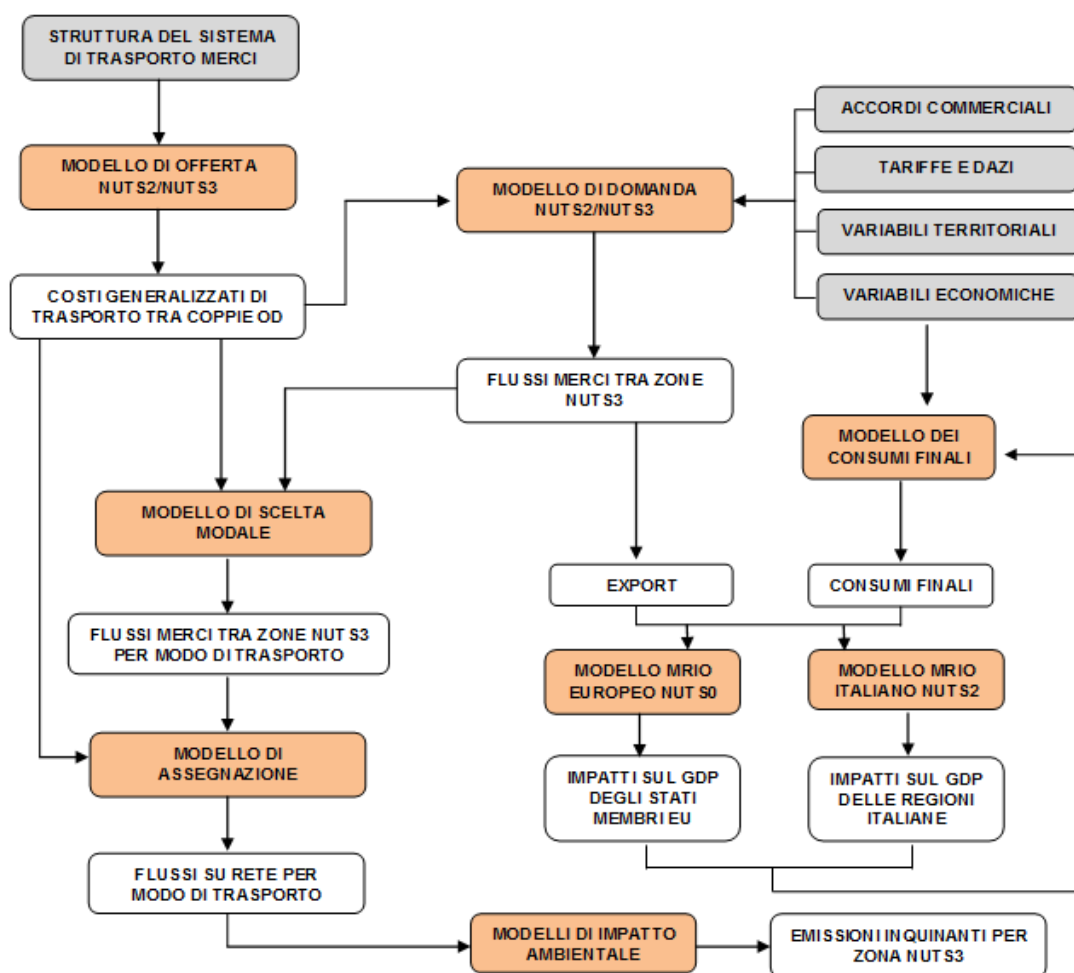


Figura 1 – Architettura del sistema di supporto alle decisioni (DSS) da implementare nel corso della ricerca

Costituiscono invece argomento primario di ricerca gli avanzamenti nei settori dei modelli di offerta e di domanda, nonché nel modello MRIO.

Una delle principali difficoltà nell'implementazione del modello di offerta sta nel fatto che nel trasporto merci possono esserci combinazioni di modalità di trasporto anche piuttosto articolate¹. Nella rappresentazione del modello di offerta che ne consegue si è presentata una serie di problemi rilevanti: innanzitutto, a livello di singolo modo si è posta la necessità di

¹ Si pensi ad esempio ad una merce che parte dall'Italia e che per raggiungere il Marocco percorre un tratto via strada per imbarcarsi al porto di Civitavecchia, da qui un tratto via mare fino a Valencia, poi ancora uno su strada fino a Gibilterra per imbarcarsi nuovamente per superare lo stretto, raggiungere Tangeri e percorrere infine l'ultimo tratto di nuovo via strada fino a raggiungere la destinazione.

modellare impedenze sub-additive (ad es. tempi complessivi stradali) e non additive (ad es. tariffe mare); inoltre, per i modi con servizi si è posta la necessità di trovare una rappresentazione sincronica/diacronica efficace e al tempo stesso dettagliata; infine, si è presentata la necessità di differenziare le impedenze di trasbordo tra modi di trasporto discontinui rispetto a quelle di primo accesso a tali modi. In aggiunta, si è posta la problematica di integrare i modelli monomodali in modo da riprodurre una qualsiasi sequenza data di modi, e di costruire un modello complessivo che consenta comunque di utilizzare algoritmi di minimo percorso standard. Ciò ha reso necessario proporre degli avanzamenti teorici di ricerca sui modelli di offerta di trasporto merci e sul corrispondente approccio per la simulazione della scelta modale.

Per quanto riguarda la stima della domanda si è posto un ulteriore problema di implementazione di modelli gravitazionali che tengano conto contemporaneamente e in modo soddisfacente sia delle prestazioni del sistema di trasporto sia delle caratteristiche socio-economiche delle zone (PIL, accordi commerciali ecc ...). Per quanto riguarda il modello MRIO, risultano di consolidata applicazione le specificazioni a coefficienti di scambio elastici, che permettono di simulare in che modo una variazione dei costi generalizzati di trasporto incide sulla produzione e quindi sul PIL di ciascuna zona. Comunque, non vi sono esempi di applicazioni rilevanti ed operative, integrate con modelli di trasporto, a livello dell'area di studio, e questo costituisce ulteriore spunto di ricerca.

Si è posto infine il problema di validare il DSS, sia nel suo complesso che relativamente ad ogni singolo modello da cui è costituito, attraverso approccio in forecasting e in back-casting. Il primo consiste nell'applicazione del modello a scenari futuri, nella valutazione della sua elasticità rispetto alle variabili di policy e nel confronto di queste elasticità con quelle ottenute in analoghi studi presenti in letteratura. Il secondo invece consiste nel validare la capacità riproduttiva del modello valutando la sua capacità di riprodurre scenari preesistenti di cui si abbiano a disposizione i dati di traffico.

Una volta implementato il DSS, in parte attraverso un codice di calcolo in Visual Basic, si sono analizzati alcuni contesti applicativi rilevanti, in modo da mostrare le tipologie di analisi possibili con uno strumento di questo tipo. In particolare, ci si è soffermati su quattro ambiti specifici: l'analisi del mercato intermodale ferroviario italiano a livello nazionale e internazionale, la progettazione di nuovi servizi di tipo Ro-Ro nel Mediterraneo occidentale dall'Italia verso l'Albania e verso il Marocco, la valutazione della competitività tra i terminal

container italiani e quelli del northern range europeo, e infine l'analisi comparativa di alcuni corridoi pan-europei nei Balcani.

Infine, nell'ambito dello sviluppo del modello MRIO si è iniziato ad analizzare il segmento di ricerca più ampio dell'interazione tra sistema di trasporto merci e sistema economico, con tutti i relativi cicli di interazione, studiato principalmente nell'ambito delle teorie economiche della New Economic Geography (NEG). Tale teoria è stata studiata in termini generali, proponendo un paradigma interpretativo utile ai fini trasportistici, e preparando quindi il terreno per future possibili integrazioni con il DSS sviluppato nella presente ricerca.

In coerenza con il problema definito nel paragrafo precedente, all'inizio del dottorato è stata definita la seguente articolazione temporale delle attività di ricerca nei tre anni di corso:

- 1° anno: stato dell'arte sui progetti e studi relativi allo SSS e all'intermodalità ferroviaria in Europa e sulle funzioni di costo, stato dell'arte sui modelli MRIO a coefficienti elastici e sui modelli gravitazionali, stato dell'arte sui modelli di scelta modale merci. Implementazione modello di offerta.
- 2° anno: calibrazione e implementazione del modello di domanda (scelta modale, MRIO a coefficienti elastici). Validazione del sistema complessivo di modelli. Implementazione delle procedure di analisi di competitività dei porti.
- 3° anno: applicazione del DSS a scenari progettuali e di pianificazione a scala nazionale e Euro-Mediterranea, con particolare riferimento allo SSS e alla intermodalità ferroviaria, con simulazioni a breve e medio termine.

L'attività di ricerca, per quanto riguarda in particolare la scelta delle applicazioni su cui testare il DSS, ha anche beneficiato dell'inserimento della dottoranda nei gruppi di ricerca applicata presso il Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti "L. Tocchetti" e presso l'Agenzia campana di promozione della logistica e del trasporto merci (LOGICA).

La struttura della tesi riflette la sequenza di tematiche trattate nel corso della ricerca. In particolare, il Capitolo 2 e il Capitolo 3 discutono gli avanzamenti di ricerca raggiunti nel corso del dottorato per la modellazione rispettivamente dell'offerta di trasporto e della domanda di trasporto. Nel Capitolo 4 sono poi presentate quattro applicazioni dell'intero sistema di modelli, relative alla intermodalità ferroviaria, allo short-sea shipping, alla competitività tra terminal container, ai corridoi pan-europei. Nel Capitolo 5, infine, sono

forniti spunti interpretativi e prospettive di ricerca relativamente alla modellazione delle relazioni tra trasporti e economia su scala globale. Infine, il Capitolo 6 propone alcune considerazioni conclusive.

La restante parte del presente capitolo propone invece un inquadramento del problema con riferimento sia ad una presentazione del contesto dell'intermodalità ferroviaria e marittima nel bacino Euro-Mediterraneo, sia ad uno stato dell'arte dei principali DSS già disponibili alla scala di interesse per la ricerca

1.2 Intermodalità marittima e ferroviaria in ambito Euro-Mediterraneo

1.2.1 *Short-sea shipping*

Per quanto riguarda l'intermodalità marittima, secondo le definizioni comunitarie lo *short-sea shipping* (SSS) è il trasporto di merci e passeggeri via mare nell'area europea e mediterranea e comprende:

- il trasporto marittimo nazionale, ovvero il cabotaggio obbligato con le isole e quello alternativo (le cosiddette Autostrade del Mare);
- il traffico marittimo con i Paesi appartenenti alla UE, incluse Islanda e Norvegia;
- il traffico fra porti comunitari e porti non comunitari che si affacciano su Mar Mediterraneo, Mar Nero e Mar Baltico;
- la tratta di smistamento dai porti hub dei traffici oceanici containerizzati (*feederaggio*);
- il traffico fluviale e quello lacustre.

Per meglio comprendere l'importanza che riveste lo SSS nell'economia del settore dei trasporti della UE, basti pensare che nel 2008 esso rappresentava il 60% dei traffici marittimi di beni tra i 27 Paesi dell'Unione Europea. Ci sono tuttavia sostanziali differenze tra i vari Paesi: in alcuni (Malta, Finlandia, Svezia), a causa della loro posizione geografica, lo SSS è particolarmente preponderante rispetto al *deep-sea shipping* (più del 90%), mentre in altri (Belgio, Paesi Bassi), per la presenza di grandi porti e di traffici intercontinentali, lo SSS ricopre solo il 50% dei traffici. Globalmente comunque il mercato dello SSS è in crescita,

basti pensare che l'offerta attuale Ro-Ro è pari a 1,53 milioni di metri lineari di stiva² (circa il 15% in più rispetto al 2004), dei quali 0,95 milioni (+3% rispetto al 2004) destinati al traffico misto merci/passeggeri, mentre 0,58 milioni (+35% rispetto al 2004) destinati al solo traffico passeggeri. Tali valori sono ripartiti tra zone geografiche in Tabella 1.

	Nord Europa	Mediterraneo	Far East	Altro	Totale
RoRo & RoPax	0.386	0.220	0.043	0.300	0.949
Passeggeri	0.225	0.240	0.073	0.044	0.582
Totale	0.611	0.460	0.116	0.344	1.531

Tabella 1 - Ripartizione per zona geografica dell'offerta Ro-Ro 2001 (milioni di metri lineari)

Come si evince dalla tabella, Mediterraneo e Nord Europa coprono da soli il 70% dell'offerta, e per entrambi la crescita rispetto al 2004 è stata di circa il 20%. Inoltre ci si avvia sempre più verso un fenomeno di gigantismo navale, per le navi europee si è avuto infatti un aumento della capacità delle navi maggiori di 3000 metri lineari del 253% rispetto al 2004. Per quanto riguarda l'offerta annua, attualmente nel Mediterraneo e nel Nord Europa vengono offerti 278,7 milioni di metri lineari, dei quali 64,4 milioni nel Mediterraneo Occidentale (+51% rispetto al 2004) e 19 milioni nel Mar Adriatico (+111% rispetto al 2004). Nel 2007, relativamente al solo traffico merci, 99 milioni di tonnellate hanno viaggiato via mare con la modalità accompagnato, mentre 58 tonnellate hanno viaggiato con la modalità non accompagnato. Per l'accompagnato si è avuto dal 2000 al 2007 un aumento dei traffici del 48% mentre dal 2007 al 2010 c'è stato un declino del 10%. Per il non accompagnato la crescita dal 2000 al 2007 è stata inferiore, +16%, mentre il declino dal 2007 al 2010 è stato del 14%. In Italia, sommando tutti i traffici nazionali e internazionali in origine e in destinazione, la modalità marittima serve nel complesso circa 469 milioni di tonnellate, secondo il Conto Nazionale Trasporti dell'ISTAT del 2009, di cui 51 milioni di tonnellate di traffici Ro-Ro.

1.2.2 Intermodalità ferroviaria

La quantità di merce complessivamente movimentata in Italia su ferrovia è risultata nel 2009 (fonte ISTAT), pari a 76,3 milioni di tonnellate ed a 17,8 miliardi di tonnellate-km con uno spostamento medio pari a 233,1 km. Di tali traffici, circa un terzo è nazionale, mentre poco meno dei due terzi sono internazionali e una quota marginale di transito, come riportato in Figura 2.

² La capacità di stiva dei traghetti Ro-Ro e Ro-Pax si misura in metri lineari di corsie di carico disponibili.

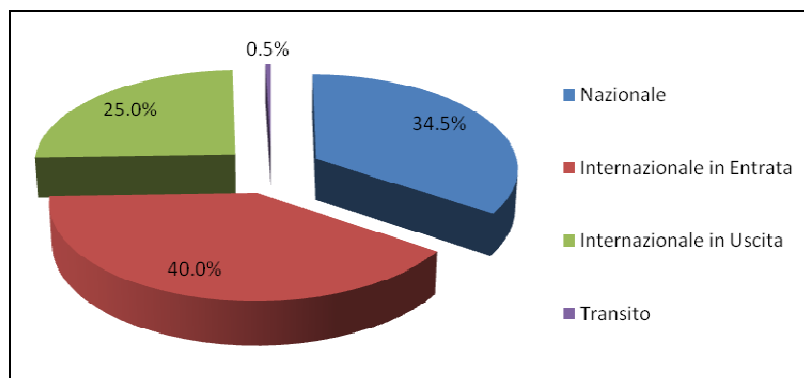


Figura 2 - Ripartizione del ferroviario italiano: nazionale, internazionale e di transito – Fonte ISTAT

Il trasporto su ferro nazionale ha avuto un incremento negli anni 2004-2007 pari al 12% per poi subire nei due anni successivi una considerevole riduzione delle tonnellate-km trasportate pari al 33%. Tale riduzione si è riscontrata anche rispetto alla distanza media percorsa che negli ultimi cinque anni è diminuita del 12% passando da 265 a 233 km. Nelle seguenti Figura 3 e Figura 4 sono riportate le variazioni del trasporto merci su ferrovia nazionale in tonnellate e in tonnellate-km dal 2004 al 2009.

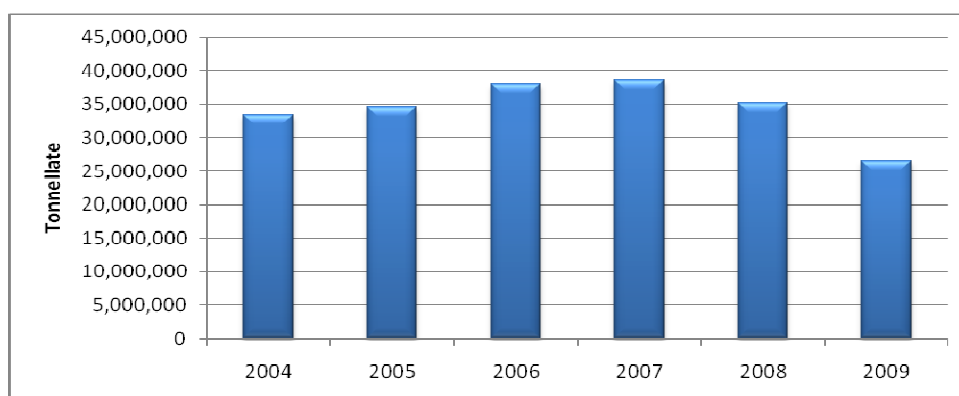


Figura 3 - Evoluzione del trasporto merci su ferrovia nazionale espressa in tonnellate

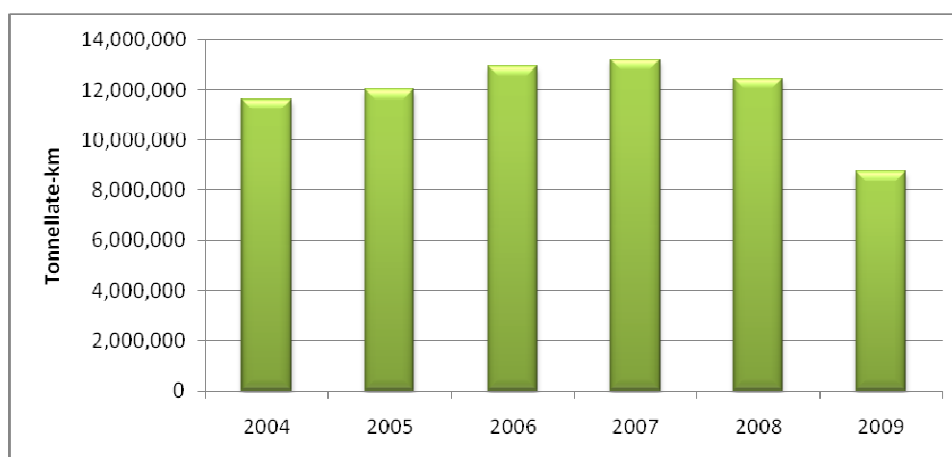


Figura 4 - Evoluzione del trasporto merci su ferrovia nazionale espressa in migliaia di tonnellate-km

Analizzando brevemente dal punto di vista quantitativo il trasporto intermodale ferroviario, con riferimento ai trasporti nazionali effettuati dalle grandi imprese nell'anno 2009, si evince che ben il 98% degli spostamenti (in termini di tonnellate-km) è avvenuto utilizzando casse mobili o container mentre solo il 2% del trasporto intermodale ferroviario è stato realizzato con semirimorchi non accompagnati (Figura 5). Non sono stati rilevati infine traffici intermodali in ambito nazionale effettuati con veicoli stradali accompagnati.

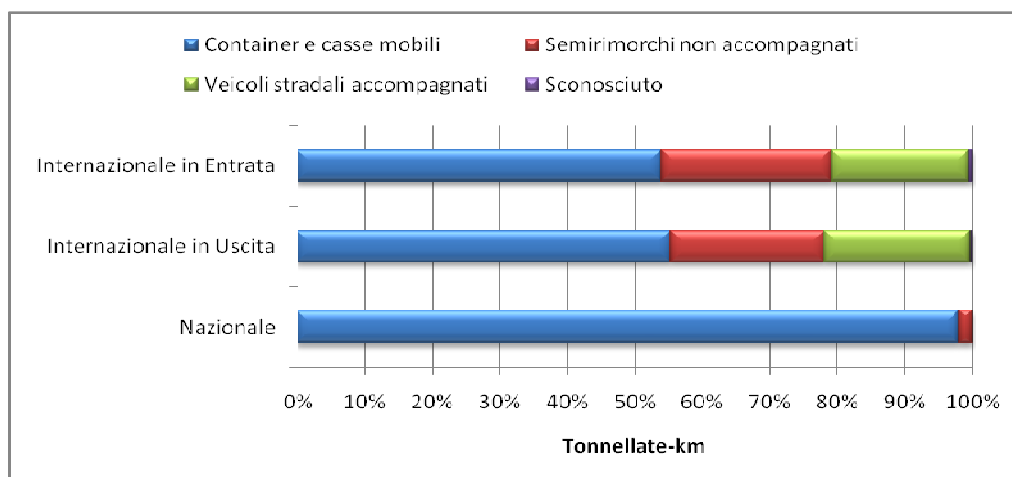


Figura 5 - Trasporto ferroviario intermodale di merci per unità di trasporto intermodale nel 2009

In riferimento ai traffici internazionali, si riporta in Figura 6 la ripartizione per modo di trasporto e Paese dei traffici merci che attraversano l'arco alpino nel segmento Ventimiglia-Tarvisio.

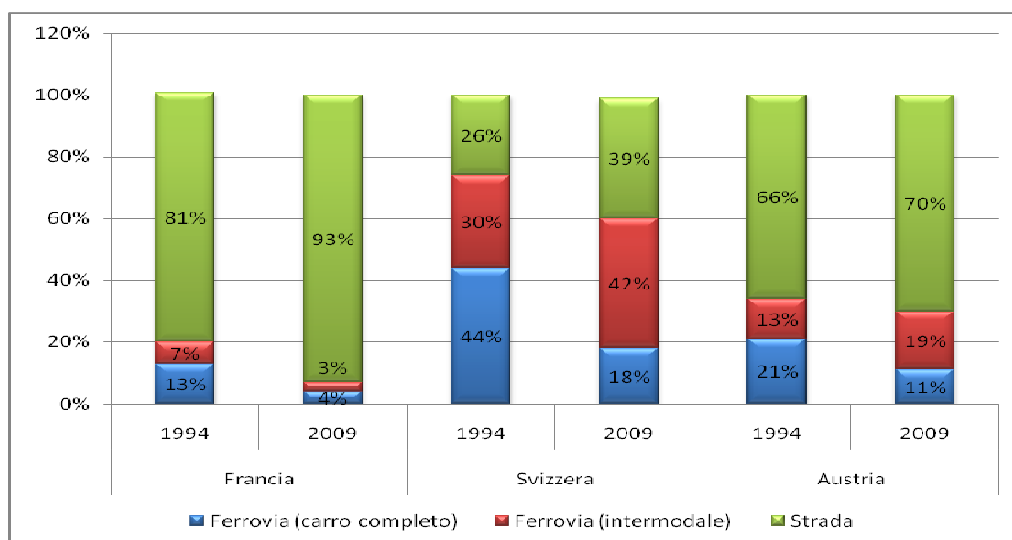


Figura 6 - Traffico merci attraverso l'arco Alpino: ripartizione per modo di trasporto e per Paese

Un aspetto molto importante relativo alla distribuzione dei flussi di merce, è il notevole squilibrio tra Nord e Sud Italia per quanto concerne le origini e le destinazioni dei traffici

internazionali. Tale aspetto è supportato dai seguenti dati: l'85% dei flussi di merci che hanno attraversato l'arco alpino nel 2004 (fonte dati: Alpinfo) ha avuto origine o destinazione in una regione del Nord Italia. Una quota esigua invece costituisce il contributo di traffici diretti da e verso il Sud Italia e le isole (circa il 6%) ed infine il 10% dei traffici ha interessato l'Italia centrale. In Figura 7 si riporta la ripartizione territoriale delle esportazioni e delle importazioni italiane relative al 2004.

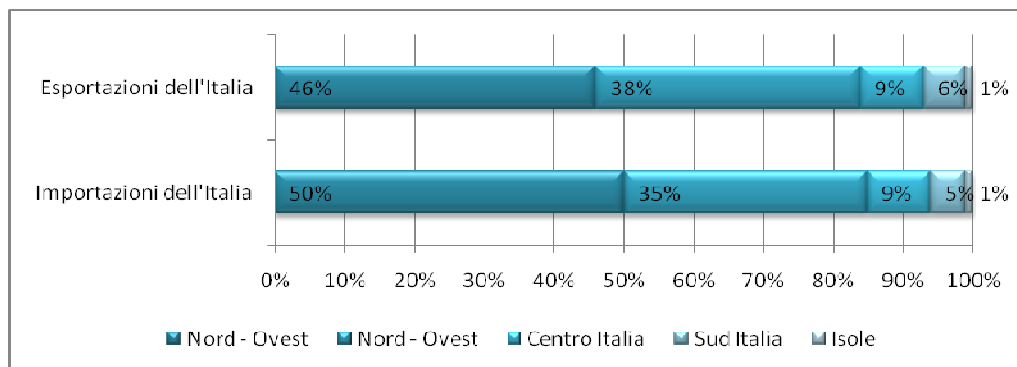


Figura 7 - Ripartizione territoriale delle esportazioni e delle importazioni italiane nel 2004. Fonte: Alpinfo

Nelle due figure seguenti si riporta la distribuzione territoriale per modo di trasporto relativa al 2004 rispettivamente per le importazioni, Figura 8, e per le esportazioni, Figura 9.

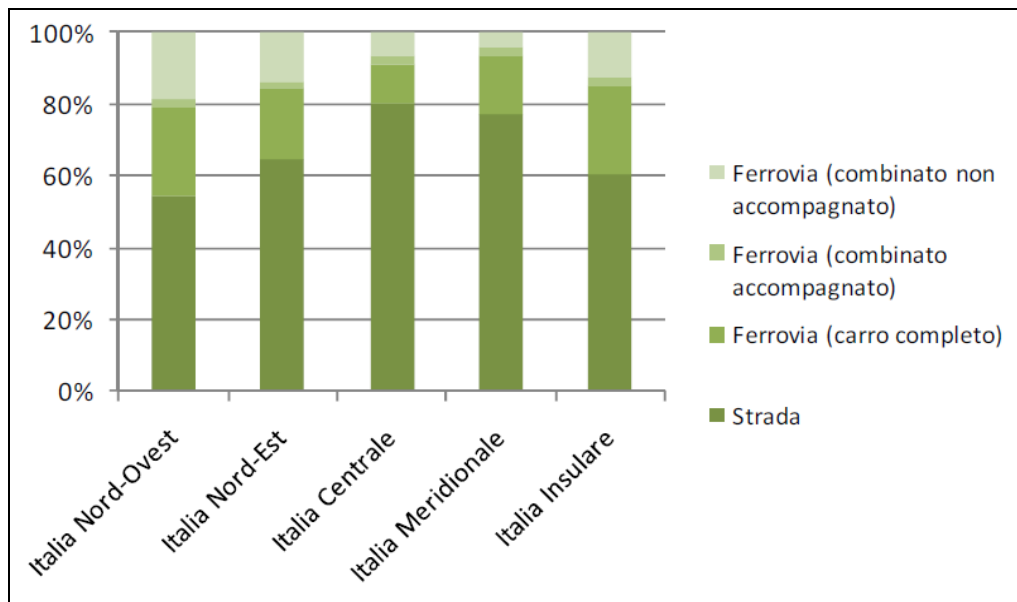


Figura 8 - Distribuzione territoriale per modo di trasporto delle importazioni italiane nel 2004

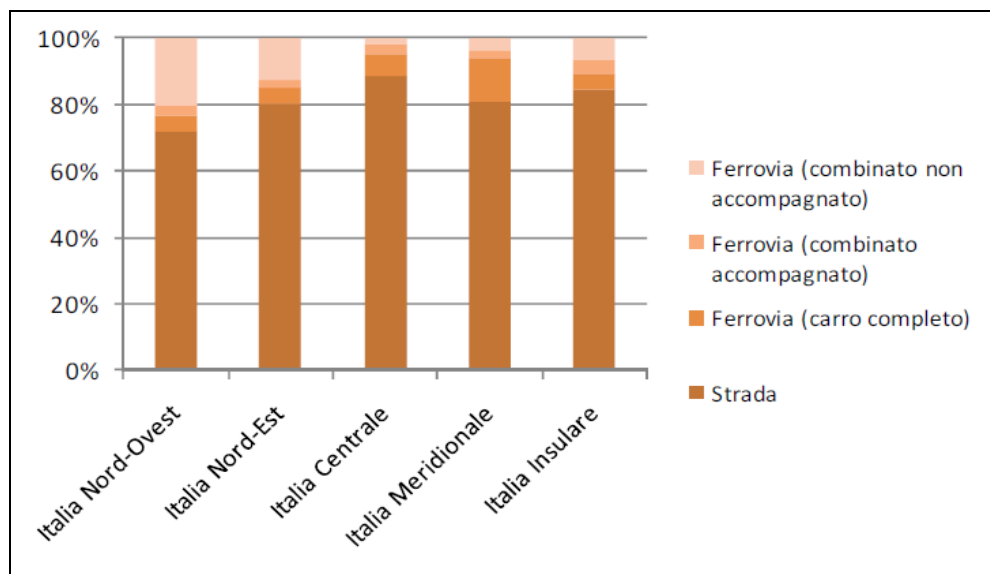


Figura 9 - Distribuzione territoriale per modo di trasporto delle esportazioni italiane nel 2004

In funzione della nazionalità o internazionalità dei traffici e della tipologia di origine/destinazione che può essere Porto o non Porto (terminal intermodale, interporto, retroporto, ecc.), si riportano in Figura 10 le tipologie di UTI (Unità di Trasporto Intermodale) prevalentemente utilizzate.

	PORTO	NON PORTO
NAZIONALE	CONTAINER	CASSE MOBILI
INTERNAZIONALE	CONTAINER	CASSE MOBILI SEMIRIMORCHI

Figura 10 - Matrice trasporto intermodale per tipologia di origine/destinazione e per tipo di traffico

In particolare, per quanto riguarda il traffico nazionale, utilizzando i dati Eurostat è possibile mostrare la ripartizione modale del traffico intermodale ferroviario in migliaia di tonnellate, Tabella 2.

Unità di trasporto/anno	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Container e casse mobili	14.589	15.620	16.326	16.229	:	10.913
Veicoli stradali (accompagnati)	1	2	0	0	:	0
Semirimorchi (non accompagnati)	48	41	61	36	:	325
Totale Nazionale	14.638	15.663	16.387	16.265	:	11.238

Tabella 2 - Ripartizione delle UTI utilizzate per il trasporto intermodale ferroviario nazionale [migliaia di tonnellate]

Analogamente, per quanto riguarda i traffici internazionali, abbiamo la situazione riportata nella seguente Tabella 3.

Unità di trasporto/anno	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Container e casse mobili	17.35	11.88	10.59	11.42	:	12.23
Veicoli stradali (accompagnati)	3.443	4.466	4.696	3.487	:	6.441
Semirimorchi (non accompagnati)	2.845	2.474	2.408	3.064	:	4.467
Totale Internazionale	23.64	18.82	17.69	17.97	:	23.14

Tabella 3 - Ripartizione delle UTI utilizzate per il trasporto intermodale ferroviario internazionale [migliaia di tonnellate]

Dai dati mostrati nelle due tabelle si evince che in ambito internazionale il trasporto effettuato con veicoli stradali “accompagnati” (ovvero la cosiddetta “autostrada viaggiante”) assume un certo peso rappresentando circa il 50% dei traffici. Ciò si spiega soprattutto considerando i traffici in ingresso ed in uscita dall’arco alpino ed in particolare da e verso Austria e Svizzera, Paesi nei quali tale modalità di trasporto è fortemente incentivata rispetto al “tutto strada”.

Per contro, a livello nazionale, le unità di trasporto utilizzate per i traffici ferroviari sono quasi esclusivamente casse mobili e container. I container in particolare sono caratteristici dei trasporti effettuati da e verso i nodi portuali.

La ripartizione modale dei flussi di traffico internazionale nel 2010 vede una quota prevalente del trasporto combinato in export mentre in import i traffici ferroviari avvengono principalmente mediante il trasporto tradizionale così come riportato nella seguente Figura 11.

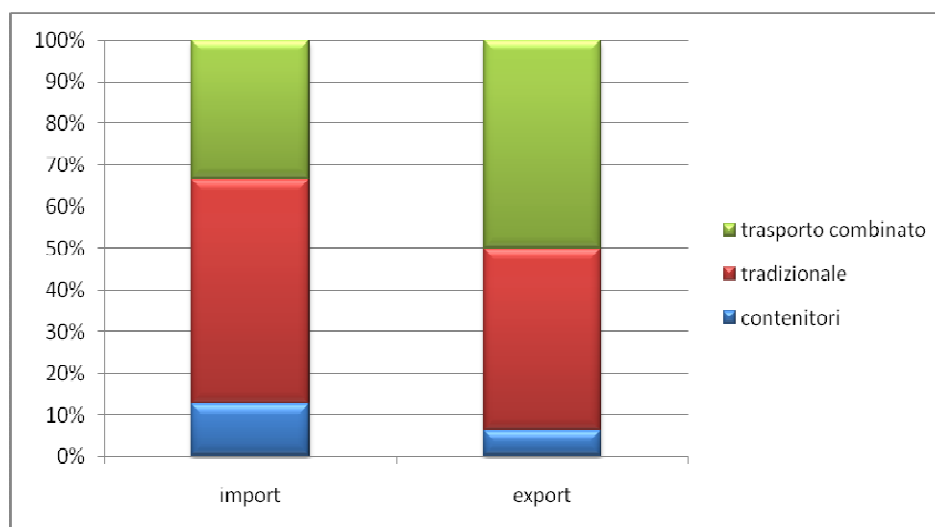


Figura 11 - Ripartizione modale dei traffici internazionali in import ed export – anno 2010

I traffici ferroviari nazionali hanno raggiunto nel 2007 i 36 milioni di tonnellate, ripartiti secondo le percentuali riportate in Figura 12.

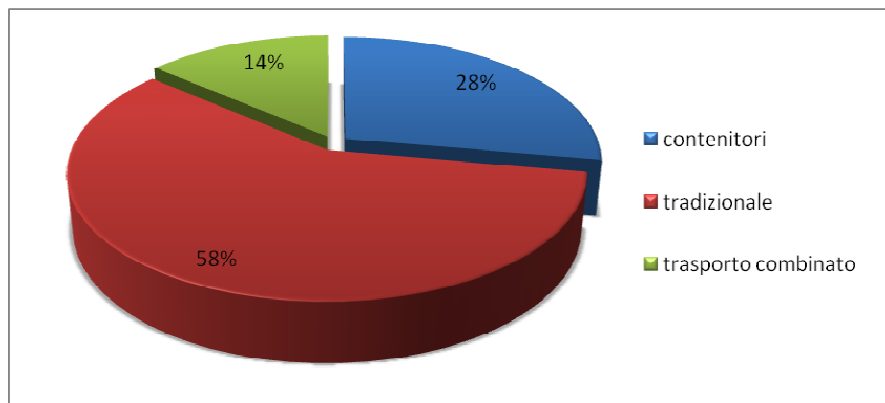


Figura 12 - Ripartizione modale dei traffici ferroviari nazionali – anno 2007

1.3 DSS a scala Euro-Mediterranea: uno stato dell'arte

Il punto di partenza della ricerca è rappresentato dalla ricognizione degli studi e dei progetti, disponibili in letteratura e nella pratica, che hanno condotto allo sviluppo di DSS a scala euro-mediterranea. Per questo motivo, si riporta nel presente paragrafo una breve descrizione dello stato dell'arte dei modelli sviluppati per diverse realtà europee attualmente esistenti in letteratura, emersi alla luce di una ricerca bibliografica. Tutti i sistemi di modelli citati presentano al loro interno sia un modello di offerta sia un modello di domanda; quest'ultimo, in particolare, nelle ipotesi più semplici simula almeno le dimensioni di scelta trasportistiche (modo e percorso).

Buona parte dei modelli descritti nel presente paragrafo sono stati sviluppati da consorzi di ricerca internazionali finanziati dalla UE fin dal 4° Programma Quadro, proprio con l'obiettivo di sviluppare un sistema di supporto alle decisioni per tutte le politiche comunitarie di settore. Ciò ha prodotto una serie di modelli e DSS quasi sempre non integrabili tra loro e non perfettamente congruenti come approccio e metodologia. Per ciascun modello, ovviamente, esiste una corposa documentazione di progetto, che richiederebbe comunque spazi non compatibili con una tesi di dottorato: pertanto, ci si è limitati ad elencarli sottolineandone solo le caratteristiche di approccio principali. In dettaglio, vale la pena menzionare i seguenti modelli:

- Modello STREAMS: sviluppato negli anni novanta e aggiornato nel biennio 2000-2001, utilizza un modello input-output di domanda e un modello di rete multi-

modale, con la definizione cioè di una rete unica che comprende tutte le modalità di trasporto collegate attraverso delle connessioni intermodali. Esso, inoltre, presenta una zonizzazione con zone molto estese, con le dovute notevoli approssimazioni del caso. Le funzioni di costo all'interno del modello di offerta sono definite separatamente per ogni modo;

- **Modello SCENES:** il modello SCENES è il successore del modello STREAMS, presenta una zonizzazione più dettagliata dei Paesi dell'EU e utilizza dati di input più recenti. Una caratteristica di particolare interesse è l'aggiunta di un modulo merci che ricalcola le relazioni OD merci per riflettere gli attuali percorsi sorti per l'uso delle catene logistiche.
- **Modello NEAC:** sviluppato a metà degli anni ottanta per la previsione dei flussi di traffico di passeggeri e merci nell'Unione Europea, comprende un dettagliato database dei flussi di traffico nell'anno base 1997 per 11 categorie di prodotti, un modello predittivo per la previsione dei flussi di traffico, un modello di ripartizione modale e un modulo di assegnazione. Le modalità prese in considerazione sono cinque: strada, ferrovia, navigazione interna, mare e resto (condotte e aria);
- **Modello STEM:** fu sviluppato tra il 1996 e il 1998 con gli obiettivi di sviluppare un modello per il trasporto intermodale, identificare le barriere per lo sviluppo dell'intermodalità e la ricerca di politiche appropriate, come cambiamenti nel regime di tassazione, introduzione di pedaggi, tariffazione dei corridoi, sovvenzionamento della trazione ferroviaria, sovvenzionamento per l'accesso alle infrastrutture e cambiamenti nell'orario di lavoro degli autotrasportatori, ed esaminare gli effetti di tali azioni attraverso la modellazione di casi studio. Il modello studia nel particolare i Paesi del Nord-Europa, anche se in esso compare uno specifico Studio Trans-Alpino. Per ogni scenario previsto lo STEM studia i cambiamenti nella scelta del modo e del percorso, su una rete che considera come alternative il trasporto ferroviario e stradale containerizzato e l'autostrada viaggiante.
- **Modello EUFRANET:** sviluppato negli anni novanta da istituti di ricerca di Francia, Germania, Paesi Bassi e Spagna, è basato su diversi sistemi operativi per il trasporto ferroviario delle merci. Lo scopo del progetto è quello di identificare e valutare le condizioni per lo sviluppo di una rete ferroviaria Trans-Europea

dedicata al trasporto internazionale delle merci. Per raggiungere tale obiettivo vengono ricercate soluzioni per un utilizzo ottimale dei sistemi ferroviari già esistenti, per eliminare i colli di bottiglia che limitano la capacità di trasporto, sviluppando strategie a livello europeo.

- **Modello ASTRA:** sviluppato negli anni novanta, è un modello di sistema dinamico nel quale vengono modellati esplicitamente i cambiamenti nei flussi di traffico e i conseguenti feedback su economia, uso del territorio e ambiente. Il modello si basa, però, su una zonizzazione alquanto semplificata e l'interazione tra passeggeri e merci viene considerata esclusivamente per il trasporto stradale.
- **Modello EUROMED:** si inserisce all'interno del progetto EUROMED, della durata di 4 anni a partire dal 2003, che ha lo scopo di facilitare la cooperazione tra i dodici Paesi Mediterranei partner del progetto supportando lo sviluppo di un'area di libero scambio e promuovendo l'integrazione economica al fine di migliorare l'efficienza del sistema dei trasporti del Mediterraneo.
- **Modello NESTEAR:** il modello simula il solo trasporto delle merci, basandosi su una rete di trasporto intermodale a scala europea in cui sono definiti in dettaglio anche terminal marittimi e terrestri.

Ulteriori modelli che analizzano le variazioni nella mobilità di merci e passeggeri in seguito all'introduzione di singole infrastrutture sono il modello Fehmarnbelt, il modello Transalpino e il modello del Brennero.

Attualmente, il modello TRANSTOOLS è ufficialmente adottato dall'UE come DSS di riferimento nel settore dei trasporti, è accessibile e mantenuto dal centro di ricerca JRC di Siviglia. Esso si basa su un'area di studio di più di 1200 zone a livello NUTS3 appartenenti a 55 diversi stati europei. Il modello simula contemporaneamente il trasporto di merci e passeggeri su una rete multimodale costituita da diversi modi di trasporto, per la precisione strada, ferro e aria per il trasporto passeggeri e strada, ferro, mare e vie d'acqua interne per il trasporto merci. La struttura del modello di domanda per il trasporto merci si basa su un modello di tipo gravitazionale per quanto riguarda la generazione-distribuzione e su un Logit multinomiale per quanto riguarda la scelta modale. Nel trasporto passeggeri, invece, vi sono diversi modelli per il trasporto a breve e lunga percorrenza.

Il modello TRANSTOOLS presenta una serie di difetti e problematiche, tanto che

attualmente un consorzio di ricerca finanziato dall'UE sta studiando un suo aggiornamento (release 3.0), che però vedrà la luce alla fine del 2012 o forse addirittura nel 2013, e su cui al momento non si hanno dettagli operativi. In ogni caso è utile ricordare che:

- la rappresentazione delle funzioni di costo per le merci è estremamente semplificata rispetto alla realtà, ad esempio non sono trattate in maniera precisa e corretta le impedenze non additive;
- il calcolo dei minimi percorsi su rete multimodale è anch'esso approssimato e non corretto;
- la rappresentazione della modalità marittima non permette di supportare analisi progettuali di dettaglio;
- non vi è una componente modellistica ad interdipendenze settoriali che permette di simulare le interazioni tra trasporti e economia.

In sintesi, è opportuno premettere che a conclusione della ricerca bibliografica è emerso che nessuno dei modelli descritti si caratterizza per un approccio quantitativo sufficientemente spinto sia sulla domanda sia sull'offerta di trasporto in un'area di studio vasta come quella euro-mediterranea, tale da supportare in maniera efficace la progettazione di infrastrutture e servizi, prevedendo le corrispondenti ricadute economiche. Il modello che all'attualità risulta più rispondente alle esigenze di cui si è detto prima è proprio il modello TRANSTOOLS, il quale però tratta contemporaneamente il trasporto merci e passeggeri, risultando necessariamente meno dettagliato nell'analisi di entrambi i sistemi. Inoltre, è emerso che nessuno dei modelli esistenti in letteratura si basa al tempo stesso su un'area di studio vasta come quella oggetto della ricerca proposta e su una rappresentazione dettagliata e efficace del sistema di trasporto merci: ad esempio, nessuno si basa su una rappresentazione dettagliata dei servizi marittimi attualmente erogati in tutto il bacino Euro-Mediterraneo. Soprattutto, vi è una rilevante carenza negli approcci per il calcolo dei minimi percorsi su rete multimodale, lato offerta, e non vi sono modelli robusti e efficaci che lato domanda si caratterizzino per variabili trasportistiche ed economiche sufficientemente dettagliate.

Tali riscontri hanno dunque permesso di contestualizzare gli obiettivi e le attività della presente ricerca rispetto a quanto già disponibile in letteratura.

2 MODELLO DI OFFERTA

2.1 Introduzione

Il presente capitolo descrive le caratteristiche teoriche ed operative del modello di offerta di trasporto merci a scala Euro-Mediterranea sviluppato per gli obiettivi di ricerca della tesi. In particolare, come noto dalla teoria dei sistemi di trasporto (Cascetta, 2009), per offerta di trasporto si intende il sottosistema del sistema di trasporto complessivo costituito da tutti gli elementi materiali (ad es. infrastrutture, veicoli, impianti) e immateriali (ad es. normative, regole di circolazione, servizi, tariffe) posti in essere per il soddisfacimento della domanda di trasporto nell'area di riferimento. Coerentemente, il modello di offerta di trasporto costituisce una rappresentazione semplificata del sistema di offerta di trasporto, ottenuto combinando insieme strumenti di diverse discipline (ad es. teoria dei grafi, teoria del deflusso), che permettono di calcolare prestazioni (ad es. tempi e costi) e impatti (ad es. inquinamento, accessibilità territoriale) dell'offerta di trasporto.

Lo sviluppo di modelli di offerta di trasporto costituisce una delle branche più consolidate dell'ingegneria dei trasporti, in particolare per quanto riguarda la modellazione del trasporto passeggeri. In linea di principio, ovviamente, gli stessi approcci possono essere trasferiti anche alla simulazione dei sistemi di offerta di trasporto merci. In tal senso, però, va sottolineato che le caratteristiche proprie dei sistemi di trasporto merci comportano una serie di problematiche teoriche non pienamente risolte nella letteratura scientifica di settore, e a cui la presente ricerca ha provato a fornire un contributo di avanzamento.

La struttura del capitolo è la seguente: nel paragrafo 2.2 si riporta una sintesi dello stato dell'arte dei modelli di offerta per la simulazione dei sistemi di trasporto merci, nel paragrafo 2.3 si descrive l'implementazione delle componenti monomodali del modello di offerta a scala euro-mediterranea, nel paragrafo 2.3.7 si descrive infine l'integrazione multimodale complessiva del modello di offerta e se ne discute la procedura di implementazione operativa.

2.2 Stato dell'arte

2.2.1 Considerazioni generali

L'implementazione di un modello di offerta di trasporto (Cascetta, 2009) è tradizionalmente articolata nei seguenti passi:

- definizione dell'area di studio;
- zonizzazione dell'area di studio ed estrazione delle infrastrutture rilevanti;
- implementazione del modello topologico;
- implementazione del modello analitico.

In particolare, si definisce area di studio l'area geografica all'interno della quale si trova il sistema di trasporto che si intende progettare o sul quale si intende intervenire, e nella quale si ritiene si esauriscano la maggior parte degli effetti degli interventi progettati. Il confine dell'area di studio è detto cordone; tutto ciò che si trova al di fuori del cordone è detto ambiente esterno, del quale interessano solo le interconnessioni con l'area di studio.

Al fine di rappresentare operativamente gli spostamenti che incidono sull'area di studio è necessario introdurre una opportuna semplificazione, che consiste nella discretizzazione dell'area di studio in un numero finito di zone di traffico attraverso la procedura di zonizzazione. In questo modo, a ciascuna zona si associa un punto, detto centroide, in cui si assume siano concentrati tutti i punti di origine degli spostamenti che partono dalla zona e tutti i punti di destinazione degli spostamenti che arrivano in quella zona. Coerentemente, quindi, il centroide va disposto baricentricamente rispetto alla localizzazione delle residenze e delle attività della zona. Ovviamente, l'errore di approssimazione che si commette nella sostituzione delle vere origini e destinazioni degli spostamenti con i centroidi è tanto più basso quanto più numerose sono le zone ovvero, di conseguenza, quanto più fitta è la zonizzazione. D'altra parte, però, introdurre un eccessivo numero di zone può avere delle conseguenze operative notevoli in termini di:

- aggravio di tempi di calcolo e di complessità computazionale richiesta, soprattutto nei casi in cui, come nell'ambito della presente ricerca, occorre sviluppare procedure di calcolo di minimi percorsi e di assegnazione di tipo non standard;
- impatti sulla qualità dei modelli matematici di domanda da implementare per stimare la distribuzione spaziale della domanda di trasporto. Come si vedrà nel capitolo 3, infatti, un eccessivo numero di possibili zone di destinazione tra cui ripartire la domanda di trasporto emessa da ciascuna zona mette in crisi i modelli di domanda utilizzati a tale scopo, che tra l'altro rappresentano ad oggi la componente più debole della modellistica di simulazione della domanda passeggeri

e merci;

- difficoltà di integrazione con il livello di disaggregazione geografico dei dati di domanda disponibili. In particolare, come si vedrà in dettaglio nel capitolo 3, nel trasporto merci a scala nazionale ed internazionale le matrici o-d sono in genere disponibili con un livello di dettaglio nazionale, cioè in termini di scambi tra Paesi: ciò comporta la necessità di disaggregare tali matrici a scala più che nazionale utilizzando modelli gravitazionali, con un risultato complessivo scadente se il numero di zone tra cui effettuare la disaggregazione è notevole.

La zonizzazione va eseguita seguendo alcuni criteri di riferimento. Innanzitutto, le zone di traffico vanno costruite a partire dalle unità territoriali minime su cui vengono effettuate le rilevazioni statistiche e campionarie a cura degli istituti statistici nazionali e internazionali³, così da poterne utilizzare i dati nell'ambito dell'implementazione e dell'applicazione del sistema di modelli. Inoltre, al fine di rendere accettabile il livello di approssimazione derivante dalla zonizzazione stessa, è necessario rispettare il cosiddetto principio di omogeneità trasportistica, secondo cui tutti gli spostamenti in origine e destinazione in una data zona devono presentare caratteristiche di mobilità il più possibile omogenee. Operativamente, l'omogeneità trasportistica è realizzata attraverso il rispetto di alcuni criteri pratici, ad esempio: utilizzare i separatori fisici del territorio (fiumi, ferrovie ecc...) come confini di zona, creare zone di traffico dalla geometria il più possibile compatta, tener conto di omogeneità di attività e insediamenti⁴.

Infine, l'operazione di zonizzazione va eseguita congiuntamente a quella di estrazione delle infrastrutture e dei servizi rilevanti. Questi ultimi, infatti, devono essere identificati in modo da limitare al massimo la dotazione di infrastrutture e servizi interni a ciascuna zona, così da evitare problemi di posizionamento dei connettori ed in coerenza col principio di ridurre al minimo gli spostamenti intrazonali, e al tempo stesso in modo da rendere il più realistica e completa possibile la rappresentazione dell'offerta di trasporto tra zone di traffico.

³ Nel caso dell'Italia, l'ISTAT fornisce dati a livello di particelle censuarie per le grandezze socio-demografiche e la maggior parte delle grandezze industriali e produttive, e a livello comunale per le rimanenti. In ambito europeo, invece, vi è una nomenclatura codificata delle unità territoriali statistiche (NUTS) con diversi livelli geografici, che sarà introdotta nel paragrafo 2.3.1, a cui i Paesi UE devono conformarsi per l'invio dei dati a EUROSTAT. In ambito extra-UE, infine, non vi sono codifiche universalmente riconosciute.

⁴ Ad esempio, nel caso dei passeggeri, converrà separare nettamente zone residenziali da zone ad alta concentrazione di uffici, in quanto ci si attende che le prime generino spostamenti nella punta del mattino, esattamente al contrario delle seconde. Ciò inoltre limita al minimo i cosiddetti spostamenti intrazonali, che non caricano la rete e dunque determinano nel modello una sottostima complessiva dei flussi circolanti.

Va infine sottolineato che, in corrispondenza dei punti di intersezione delle infrastrutture e dei servizi rilevanti estratti con il cordone dell'area di studio, vanno introdotti degli opportuni centroidi di cordone, rappresentativi degli spostamenti di scambio tra l'area di studio e l'ambiente esterno e degli spostamenti di attraversamento dell'area di studio.

Una volta definita l'area di studio e la sua zonizzazione ed individuate le infrastrutture e i servizi rilevanti, occorre procedere alla costruzione del modello topologico e del modello analitico di offerta. In particolare, il modello topologico di offerta di trasporto è costituito dal grafo che rappresenta una schematica e parziale rappresentazione delle infrastrutture e dei servizi di trasporto, mentre il modello analitico è finalizzato al calcolo delle prestazioni e degli impatti a partire da opportune funzioni matematiche associate agli elementi del modello topologico.

Ai fini della presente ricerca, occorre sottolineare che la costruzione del modello topologico e del modello analitico si basa su approcci e procedure molto diverse a seconda della tipologia di sistema di trasporto da modellare. In particolare, si distinguono:

- sistemi di trasporto con servizio continuo, disponibili in ogni istante di tempo e accessibili da ogni punto dello spazio: esempi tipici sono i modi individuali che utilizzano i sistemi stradali, come le automobili o i pedoni;
- sistemi di trasporto con servizio discreto, accessibili solo in alcuni punti e disponibili solo in alcuni istanti temporali: esempi tipici sono i servizi di linea (autobus, treni, aerei ecc.) che possono essere utilizzati solo fra i terminali (fermate, stazioni, aeroporti ecc.) e sono disponibili solo in certi istanti (orari di partenza).

Nell'ambito dei sistemi di trasporto con servizio discreto, poi, occorre introdurre una ulteriore suddivisione:

- servizi ad elevata frequenza e/o bassa regolarità, caratterizzati da frequenze di passaggio rilevanti e comunque tali da condurre alla percezione di disponibilità di una linea da parte degli utenti: ne sono tipici esempi i servizi di autobus e metropolitani in ambito urbano. In altre parole, l'utente sceglie di utilizzare una determinata linea del servizio e accede alla prima corsa disponibile alla fermata (approccio a linea);
- servizi a bassa frequenza e/o elevata regolarità: ne sono esempi i servizi aerei e

ferroviari a scala nazionale e internazionale. In questo caso l'utente si comporta scegliendo una specifica corsa del servizio (approccio a corsa).

È da notare che l'approccio a linea si caratterizza per un comportamento di scelta da parte degli utenti di tipo cosiddetto misto preventivo-adattivo: in altre parole, l'utente formula una strategia di viaggio scegliendo prima della partenza a che fermata andare per accedere al servizio di trasporto discontinuo e qual è l'insieme di linee attrattive per il suo spostamento (componente preventiva), mentre solo durante lo spostamento utilizzerà effettivamente una data linea piuttosto che un'altra in funzione della sequenza di passaggio alla fermata (componente adattiva). Nel caso di sistema di trasporto continuo oppure discontinuo a corsa si assume invece un comportamento totalmente preventivo.

Entrando nel dettaglio della rappresentazione topologica, si definisce grafo una coppia ordinata di insiemi di nodi N e di archi L . A ciascun nodo è attribuito un identificativo progressivo ed ogni arco è definito dalla coppia di nodi che esso connette; in generale, per rappresentare le reti di trasporto si utilizzano grafi orientati nei quali cioè gli archi hanno un verso, per cui la coppia di nodi che identifica ciascun arco è dotata di ordinamento. In un grafo si definisce percorso una sequenza di archi nella quale il nodo finale di ciascun arco coincide con il nodo iniziale del successivo. Nei sistemi di trasporto sono di interesse i soli percorsi elementari o aciclici, cioè che non passano mai due volte per lo stesso nodo. Un grafo si dice connesso se, per ogni coppia di nodi del grafo, esiste almeno un percorso che abbia come estremi i nodi in questione; nei sistemi di trasporto la proprietà di connessione non è sempre necessaria. Nel caso di grafi sincronici rappresentativi di sistemi di trasporto discontinui con approccio a linea, è possibile definire una ulteriore entità rappresentativa della strategia di viaggio dell'utente: tale entità, detta ipercammino, è costituita dall'insieme dei percorsi individuati dalla fermata di partenza scelta e dall'insieme di linee attrattive.

Nel caso di sistemi di trasporto continui, l'esempio più comune è costituito come detto dai sistemi stradali. Nei grafi stradali i nodi di solito sono localizzati alle intersezioni oppure in corrispondenza di variazioni molto significative delle caratteristiche geometriche o funzionali di un singolo tratto stradale. Gli archi corrispondono invece ai collegamenti fra nodi, consentiti dall'organizzazione della circolazione viaria: una strada a doppio senso sarà quindi rappresentata da due archi orientati di verso opposto mentre una strada a senso unico da un solo arco orientato nel verso consentito (Figura 13). Nelle applicazioni si considerano di solito due soli tipi distinti di archi: archi di corsa, che rappresentano il movimento reale del veicolo

quale lo spostamento lungo un tronco autostradale o urbano, e archi di attesa che rappresentano i fenomeni di attesa alle intersezioni e alle barriere di pedaggio.

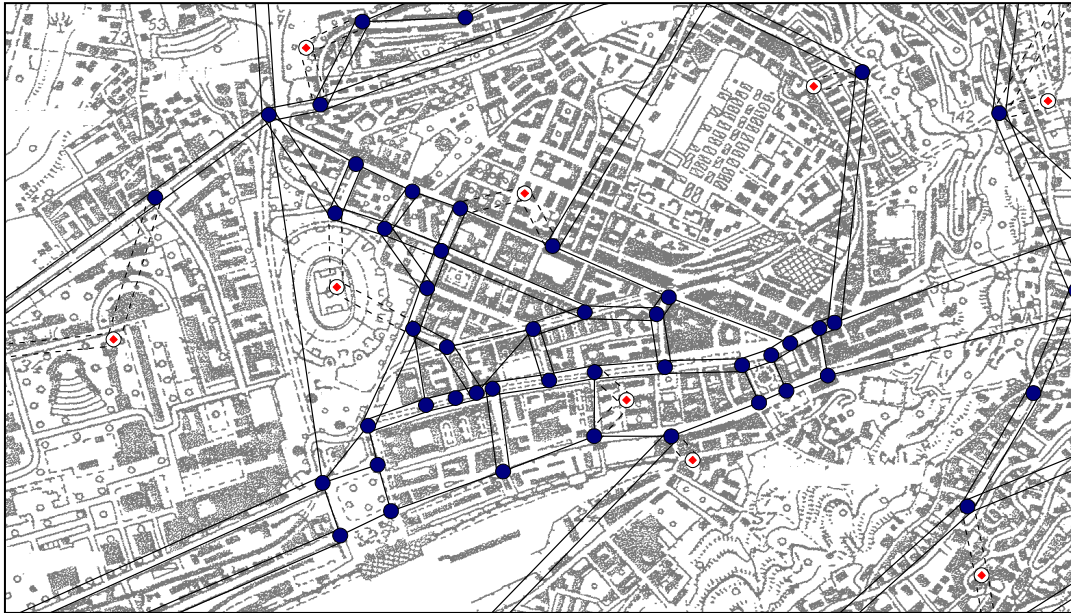


Figura 13 - Esempio di grafo rappresentativo di un sistema stradale: quartiere di Fuorigrotta (fonte: Cascetta, 2009)

Per quanto attiene invece ai servizi di trasporto discontinui, nel caso di approccio a linea, il modello topologico è costituito da un grafo delle linee i cui nodi corrispondono alle fermate, e più in particolare agli eventi significativi che si verificano alle fermate (grafo sincronico). I nodi di accesso rappresentano l'arrivo dell'utente alla fermata, il nodo fermata o nodo di diversione, rappresenta la salita a bordo di un veicolo, e i nodi di linea le partenze e gli arrivi dei veicoli di una determinata linea ad una determinata fermata. Gli archi rappresentano attività o fasi di uno spostamento: gli spostamenti di accesso fra i nodi di accesso (archi di accesso), l'attesa alla fermata (archi di attesa), la salita e la discesa dai veicoli di una certa linea (archi di salita e di discesa), lo spostamento da una fermata ad un'altra della stessa linea (archi di linea), e la sosta del veicolo alla fermata (archi di sosta alle fermate). Gli archi di accesso possono rappresentare diversi modi di accesso a seconda del sistema modellato. In definitiva, ogni fermata è rappresentata con un sottografo del tipo di quello riportato in Figura 14. Il grafo delle linee è completato con l'aggiunta di nodi e archi che consentono l'accesso/egresso dai centroidi alle fermate.

GRAFO DI BASE

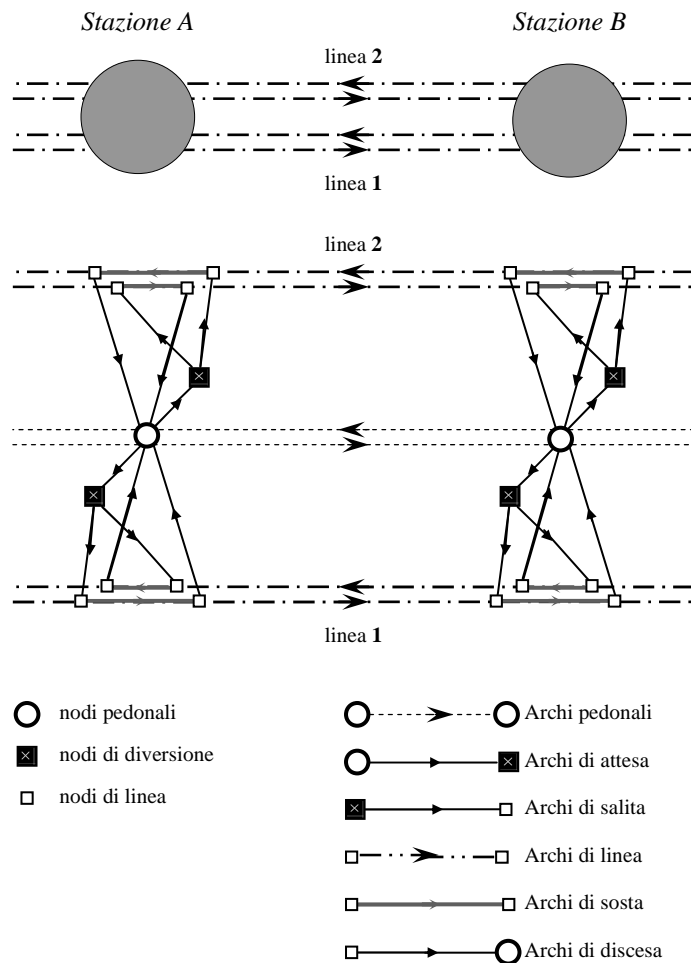


Figura 14 – Esempio di grafo sincronico per servizi di trasporto discreto a alta frequenza (fonte: Cascetta, 2009)

Nel caso di approccio a corsa, infine, il grafo è di tipo cosiddetto diacronico, nel quale tutti i nodi hanno coordinate spazio-temporali e pertanto rappresentano eventi che hanno luogo in un determinato istante e in un determinato punto dello spazio. Ogni corsa può essere rappresentata attraverso l'uso di un sottografo, i cui nodi rappresentano gli orari di arrivo e partenza della corsa alle fermate, e i cui archi rappresentano lo spostamento da una fermata a un'altra o la sosta a una data fermata. Gli altri nodi rappresentano gli arrivi degli utenti alle fermate per salire o scendere da ogni corsa. Questi nodi sono connessi, attraverso archi di salita e di discesa, sia ai nodi che rappresentano gli arrivi e le partenze della corsa in questione, sia ai rami che rappresentano i trasbordi degli utenti da una corsa a un'altra alla stessa fermata. Questo insieme di nodi e rami è di solito definito come sottografo delle corse (o dei servizi). Il sottografo di domanda è costituito dai centroidi temporali, che rappresentano l'orario e il luogo di origine o destinazione degli spostamenti. Gli orari desiderati di partenza o di arrivo possono essere rappresentati dai centroidi temporali che hanno le stesse coordinate

spaziali dei centroidi di zona, introdotti precedentemente, e coordinate temporali date dagli istanti rappresentativi della relativa fascia oraria. I nodi del sottografo dei centroidi temporali rappresentano anche l'orario di partenza dall'origine per raggiungere la fermata di accesso al servizio o l'orario di arrivo a destinazione dalla fermata di discesa. Gli archi che uniscono il centroide temporale, che rappresenta l'orario desiderato di partenza del generico utente, al nodo dell'asse fermata, che rappresenta l'orario di partenza dall'origine per salire su una determinata corsa, rappresentano l'anticipo o il ritardo dell'orario di partenza rispetto all'orario desiderato. Il grafo complessivo viene completato attraverso la definizione del sottografo di accesso/egresso costituito dagli archi di accesso/egresso ai/dai centroidi, con i relativi tempi e costi di viaggio (Figura 15).

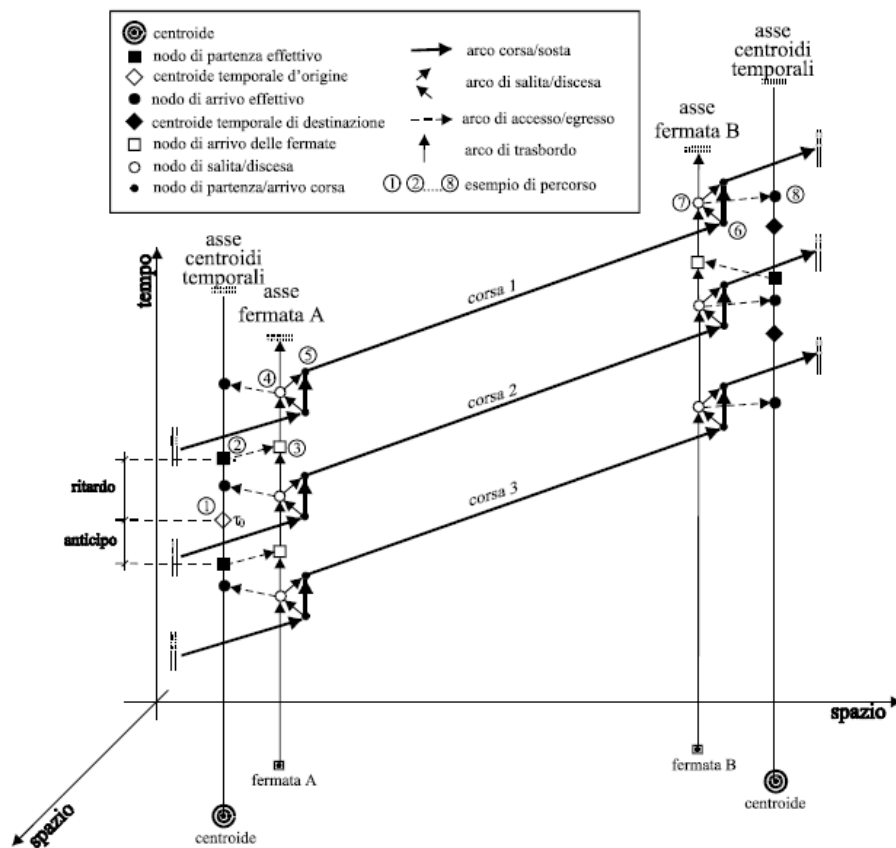


Figura 15 – Esempio di grafo diacronico per servizi di trasporto discreto a bassa frequenza (fonte: Cascetta, 2009)

Il modello analitico consiste, come detto, nell'associare a ciascun elemento caratteristico del modello topologico delle opportune funzioni di prestazione e di impatto a partire dalle quali, sfruttando gli algoritmi propri della teoria dei grafi, calcolare le prestazioni e gli impatti dell'intero sistema di offerta di trasporto modellato. Rimandando a testi specifici per una trattazione di dettaglio (si veda ad es. Cascetta, 2009), è opportuno in questa sede richiamare che tre componenti fondamentali del modello analitico di interesse per la presente ricerca

sono le seguenti:

- il modello dei costi di arco (o funzione di costo), che definisce la relazione che intercorre tra costi di arco c_l e flussi di arco f_l . Nel caso in cui il costo del generico arco l dipenda solo dal flusso sullo stesso arco, ovvero $c_l = c_l(f_l)$, si parla di funzioni di costo separabili;
- il modello dei costi di percorso, restituisce il costo di un percorso C_k come somma dei costi degli archi c_l che compongono quel percorso, più eventuali componenti di costo specifiche del percorso stesso C_k^* , ovvero $C_k = \sum_{l \in k} c_l + C_k^*$;
- il modello dei costi di ipercammino restituisce il costo di un ipercammino C_i come media dei costi dei percorsi che appartengono a quell'ipercammino pesati sulla probabilità $p_{k|i}$ di scelta del percorso k dato l'ipercammino i ; essa è a sua volta data dalla produttoria delle probabilità di scelta p_{k/n_k} del percorso k a ciascuno dei suoi nodi di diversione n_k , dipendente dalla frequenza φ_k della linea relativa al percorso k e dalla frequenza φ_h di ciascuno dei percorsi h uscenti da n_k e appartenenti all'insieme delle linee attrattive di i :

$$C_i = \sum_{k \in i} C_k p_{k|i} = \sum_{k \in i} C_k \left(\prod_{n_k \in k} \frac{\varphi_k}{\sum_{h \in n_k} \varphi_h} \right)$$

Quanto detto finora vale per la rappresentazione dell'offerta di trasporto relativa ad un singolo modo. Nella pratica, e si vedrà nel paragrafo 2.3 che ciò assume fondamentale rilevanza per il trasporto merci, si presenta spesso la necessità di dover modellare sistemi di offerta di trasporto caratterizzati dalla presenza di combinazioni di più modi. In questo caso l'approccio tradizionalmente seguito è quello delle reti multimodali proposto da Sheffi (1985); in esse sono presenti tanti layer di reti monomodali quanti sono i singoli modi da rappresentare, in ciascuno dei quali è presente un certo numero di nodi di trasferimento modale collegati con opportuni archi di trasferimento modale ai corrispondenti nodi di altri modi di trasporto.

2.2.2 Modelli di offerta per il trasporto merci

Il tema della modellazione dell'offerta di trasporto merci è abbastanza consolidato in

letteratura, almeno come estensione dei corrispondenti modelli per il trasporto passeggeri. Per gli obiettivi della ricerca, i modelli cui si è fatto riferimento prevalente sono innanzitutto quelli nell'ambito dei sistemi di supporto alle decisioni a scala nazionale e internazionale richiamati nel paragrafo 1.3; tra essi, il più sofisticato è quello della versione più recente di TRANSTOOLS a disposizione, che ha un modello per ciascuna modalità di trasporto e terminali di connessione. Come già detto, esso risulta però troppo semplificato in termini di approccio multimodale, e soprattutto non vengono chiariti e modellati alcuni aspetti specifici e peculiari del sistema di offerta merci multimodale, come sarà chiarito nel seguito del capitolo.

A livello nazionale, il modello di riferimento è il SIMPT, implementato in più fasi ed attualmente in fase di revisione. Anch'esso adotta un approccio multimodale con grafi connessi con i terminali e, ancora una volta, la modellazione dei minimi percorsi su rete multimodale è semplificata e non pienamente rappresentativa della complessità del sistema di trasporto merci. È utile poi richiamare il contributo di Beuthe et al. (2001), Arnold et al. (2004) e de Jong et al. (2004). Tutti questi modelli adottano un approccio, per i modi di trasporto collettivo, di tipo sincronico, stante l'impossibilità di ricostruire in maniera dettagliata database di servizi di trasporto marittimo e ferroviario. Alcune prospettive di implementazione di un modello diacronico, non tradotte però nella pratica, sono discusse da Aponte et al. (2008).

Vi sono poi alcuni contributi di dettaglio che approfondiscono tematiche specifiche nell'ambito dei modelli di offerta di trasporto merci. Ad esempio, Russo (2002) affronta le problematiche relative alle funzioni di costo per diversi modi di trasporto merci a scala Euro-Mediterranea, Chindemi (2004) e relativa bibliografia introduce ulteriori funzioni di costo, Vitetta e Quattrone (2010) discutono alcune problematiche di scelta del percorso in ambito merci a scala nazionale. La modellazione di soli sistemi di trasporto container a livello globale è poi oggetto di ulteriori contributi di ricerca, ad esempio Tavasszy et al. (2009).

In generale, emergono alcuni risultati di interesse ai fini delle direzioni di sviluppo della presente ricerca. In primo luogo, per quanto riguarda l'implementazione del modello topologico, i modelli disponibili per l'area Euro-Mediterranea sono caratterizzati da una rappresentazione sufficientemente dettagliata delle modalità di trasporto terrestri (strada e ferrovia), mentre risultano abbastanza carenti per quanto riguarda la modalità marittima. In particolare, si è riscontrata la presenza di grafi semplificati e costruiti "a mano" a partire da

informazioni più o meno dettagliate sui servizi marittimi disponibili tra i porti dell'area di studio e tra questi e l'ambiente esterno. In aggiunta, per i modi ad accesso discontinuo nel tempo e nello spazio si utilizzano di solito approcci molto semplificati, che non tengono conto dell'effettiva struttura dei servizi di trasporto disponibili e quindi non ne permettono una efficace modellazione a fini progettuali.

Inoltre, per quanto riguarda il modello analitico, si è riscontrata una semplificazione del fenomeno anche rilevante in alcuni casi, non considerando una serie di fattori di carattere normativo (ad es. nel trasporto stradale non si tiene conto in maniera corretta delle discipline di sosta e di fermata previste dalle normative europee), operativo (ad es. nel trasporto marittimo di tipo Ro-Ro non è propriamente modellata l'opzione accompagnato/non accompagnato) e strutturale (ad es. le differenti prestazioni di tipologie di veicolo, unità di trasporto intermodale e di categoria merceologica non risultano completamente rappresentate). Per di più, non vi sono esempi di modelli che trattino in maniera corretta ed esaustiva le numerose impedenze di percorso non additive presenti in ciascuna modalità.

Infine, va evidenziata la necessità di aggiornare le funzioni di costo all'attualità, tenendo conto dei recenti cambiamenti derivanti dalla crisi economica a livello globale, delle rapide modifiche di carattere politico ed economico che interessano numerosi Paesi dell'area Euro-Mediterranea e, soprattutto, della necessità di incorporare le variabili di policy oggetto di progettazione/pianificazione nella fase applicativa della ricerca (capitolo 4).

A livello di integrazione multimodale, poi, si sono riscontrate alcune carenze sostanziali. In particolare, se da un lato l'approccio a rete multimodale di Sheffi (1985) è estremamente diffuso e estensivamente applicato, con in particolare contributi notevoli dalla ricerca operativa in merito alla predisposizione di algoritmi di minimo percorso con vincoli spaziali e temporali, dall'altro la sua applicazione conduce a due rilevanti problematiche teoriche meritevoli di approfondimento: la prima riguarda la necessità di integrare nel modello di offerta multimodale tutti gli avanzamenti condotti a livello di singoli modi (con particolare riferimento alle impedenze non additive), la seconda si riferisce alla necessità di individuare il miglior compromesso tra complessità del modello di scelta modale e complessità del modello di offerta multimodale.

Su tutti questi aspetti si discuterà in dettaglio nel paragrafo 2.3.

2.3 Implementazione del modello di offerta

Il presente paragrafo descrive gli avanzamenti teorici ed operativi e le attività di implementazione del modello di offerta del sistema di trasporto merci multimodale a scala Euro-Mediterranea, che costituisce uno dei risultati della ricerca. In particolare, nel paragrafo 2.3.1 si descrivono l'area di studio e la corrispondente zonizzazione, mentre nei paragrafi da 2.3.2 a 2.3.5 sono riportate in dettaglio le attività teoriche e pratiche per la costruzione dei modelli di offerta stradale, ferroviario, marittimo e di navigazione interna. A partire da questi, nel paragrafo 2.3.6 si discute la costruzione del modello di offerta multimodale complessivo.

2.3.1 Area di studio e zonizzazione

Ai fini degli obiettivi della ricerca e delle sue applicazioni, è necessario prendere in considerazione come area di studio l'intero bacino costituito dal Mediterraneo, dai mari dell'Europa del Nord e da tutti i Paesi che, a vario titolo, ne utilizzano le infrastrutture e i servizi di trasporto merci: dopo un'attenta valutazione si è deciso di considerare l'area di studio riportata nella seguente Figura 16, che comprende 57 Paesi⁵. Ai fini della successiva implementazione del modello di offerta e del modello di domanda, i Paesi dell'area di studio sono stati classificati in tre categorie (alta, media, bassa) in ragione di alcuni indicatori macroeconomici rilevanti e soprattutto tenendo conto delle caratteristiche generali delle dotazioni di infrastrutture e di servizi di trasporto. La già citata Figura 16 riporta con un tematismo la classificazione adottata.

⁵ Il Sahara Occidentale è considerato parte integrante del Marocco, in accordo con la posizione UE che non ne riconosce l'indipendenza.

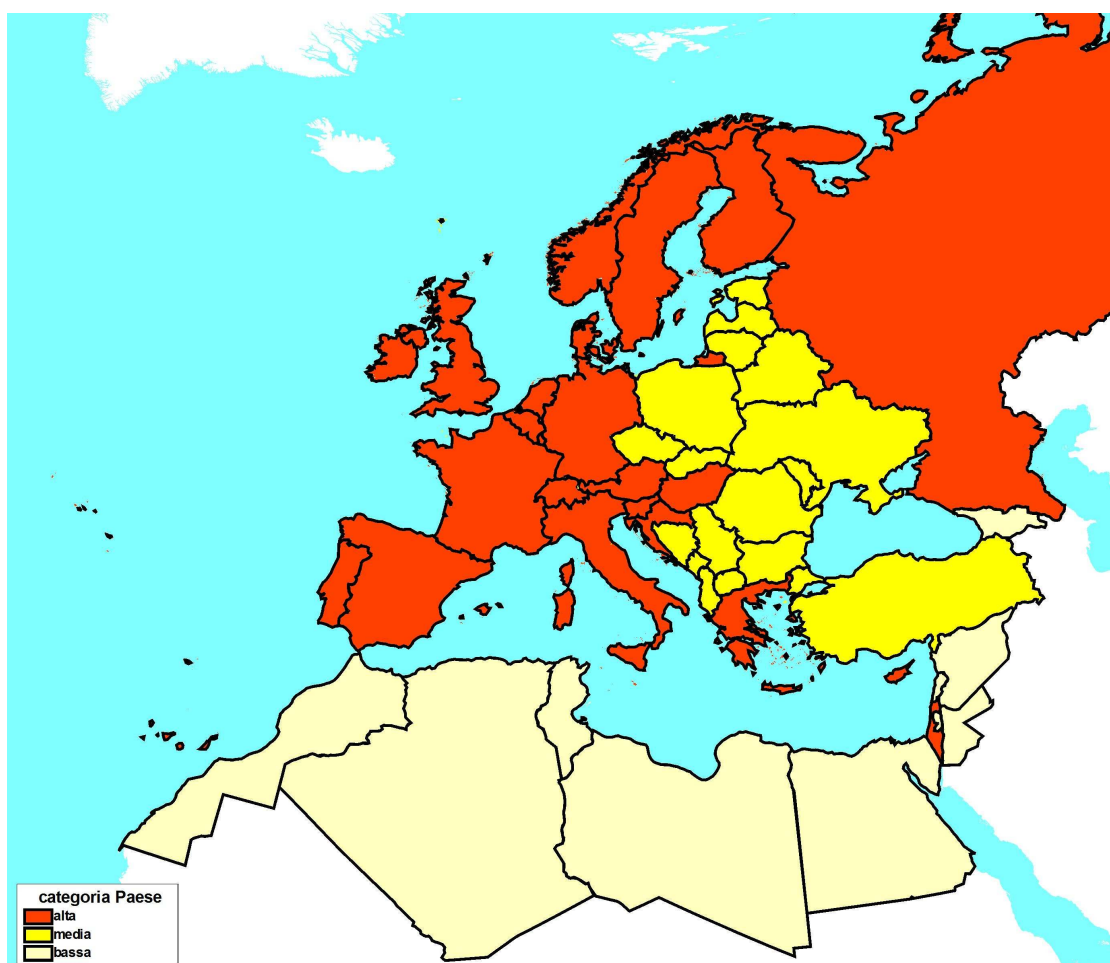


Figura 16 – Area di studio del modello di offerta a scala Euro-Mediterranea e classificazione dei Paesi in categorie

Come descritto nel paragrafo 2.2.1, la zonizzazione dell'area di studio va eseguita seguendo opportuni criteri, legati essenzialmente alla discretizzazione territoriale utilizzata dagli organismi statistici nazionali e internazionali per la raccolta e la disseminazione dei dati, al rispetto del principio di omogeneità trasportistica e alla necessità di introdurre un livello di dettaglio sufficientemente spinto per le applicazioni progettuali e di pianificazione a cui il modello è destinato. A tal fine va innanzitutto considerato che l'Unione Europea ha introdotto una classificazione armonizzata delle unità statistiche territoriali che si applica ai Paesi membri e ai Paesi candidati; tale nomenclatura prende il nome di NUTS (*Nomenclature of Territorial Units for Statistics*) e prevede quattro livelli gerarchici, numerati da 0 a 3 in ordine crescente di disaggregazione⁶ (Figura 17). In particolare, il livello NUTS-0 corrisponde ai Paesi, mentre per gli altri livelli non vi è una corrispondenza armonizzata: per l'Italia il livello NUTS-1 corrisponde alle macroregioni geografiche (Nord Est, Nord Ovest, Centro, Sud, Isole), il livello NUTS-2 alle regioni amministrative e il livello NUTS-3 alle province

⁶ Dettagli sono reperibili consultando il sito internet di riferimento dell'EUROSTAT per la classificazione geografica del territorio: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts_nomenclature/introduction.

amministrative. Per i rimanenti Paesi non coperti dalla nomenclatura NUTS si è invece resa necessaria una ricognizione a livello di singolo Paese.

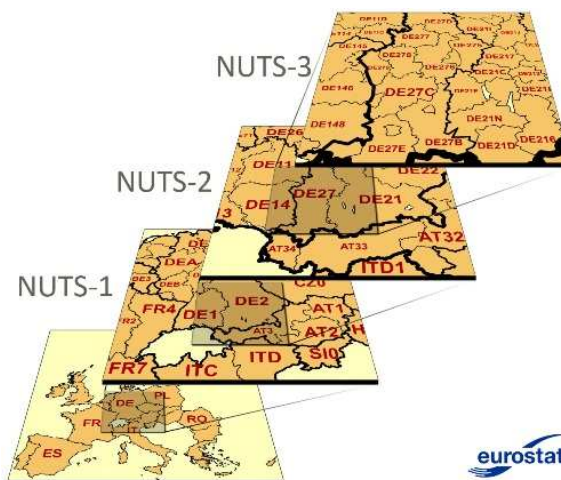


Figura 17 – Esempificazione del sistema di classificazione NUTS (fonte: EUROSTAT)

Ciò premesso, la zonizzazione è stata effettuata tenendo conto che, per modellare correttamente lo short-sea shipping, è necessario riprodurre correttamente l'accesso a ciascun porto ed ai rispettivi servizi, nonché la competizione tra porti. A tal fine, poiché la distanza media tra due porti nelle coste mediterranee e dell'Europa del nord è estremamente ridotta – si pensi al solo arco tirrenico dell'Italia, dove in meno di 600 km cadono i porti di Savona/Vado, Genova, La Spezia, Massa Carrara, Livorno, Civitavecchia, Napoli e Salerno – si è deciso di adottare il livello NUTS-3 per la zonizzazione a livello UE e a livello di province/contee per i rimanenti Paesi. Complessivamente, sono state individuate 1508 zone di traffico (Figura 18), ripartite per Paese come indicato nella seguente Tabella 4.

In ciascuna zona è stato quindi identificato un centroide, in accordo con quanto riportato nel paragrafo 2.2.1. Come si vedrà tra breve, tutti i centroidi di zona sono stati connessi per definizione alla rete stradale, mentre solo per alcuni si è provveduto al collegamento diretto alle reti ferroviaria, marittima e/o di navigazione interna in casi particolari.

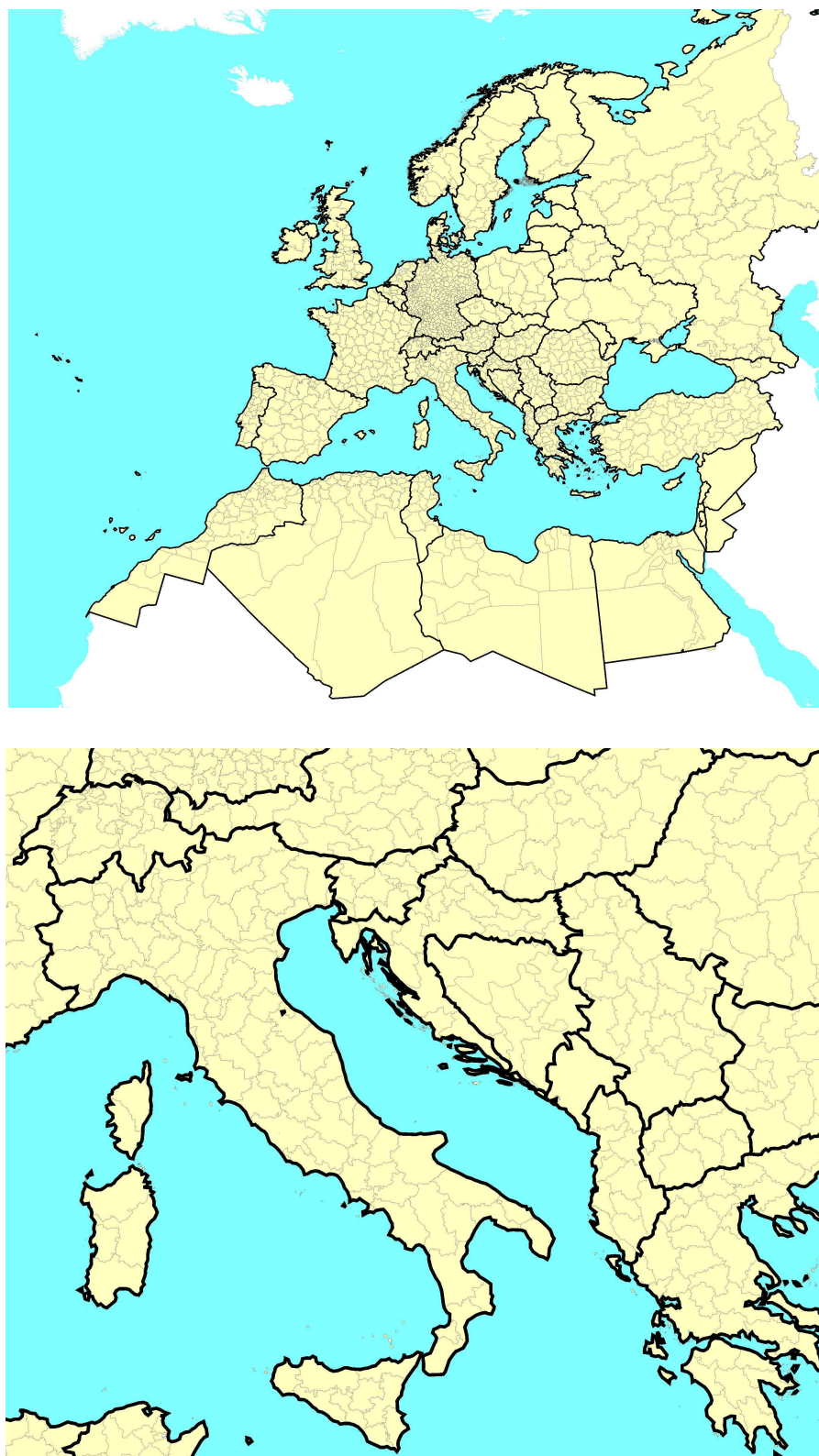


Figura 18 – Zonizzazione dell'area di studio (in alto) e dettaglio per la zona dell'Italia (in basso)

Paese	numero di zone	Paese	numero di zone	Paese	numero di zone
Albania	12	Gibilterra	1	Netherlands	12
Algeria	48	Greece	51	Norway	19
Andorra	1	Hungary	20	Poland	16
Austria	35	Irish Republic	2	Portugal	30
Belarus	6	Israel	1	Romania	42
Belgium	11	Italy	103	Russia	55
Bosnia and Hercegovina	13	Jordan	1	San Marino	1
Bulgaria	28	Latvia	1	Serbia	26
Citta del Vaticano	1	Lebanon	1	Slovakia	4
Croatia	21	Libya	32	Slovenia	12
Cyprus	1	Liechtenstein	1	Spain	49
Czech Republic	8	Lithuania	1	Sweden	21
Denmark	12	Luxembourg	1	Switzerland	26
Egypt	26	Macedonia	8	Syria	1
Estonia	1	Malta	1	Tunisia	24
Finland	5	Moldova	1	Turkey	80
France	96	Montecarlo	1	Ukraine	9
Georgia	4	Montenegro	1	United Kingdom	37
Germany	428	Morocco	58	West Bank	1

Tabella 4 – Numero di zone di traffico per Paese nella zonizzazione riportata in Figura 18

Ai fini dell'implementazione dei modelli di offerta e di domanda, a ciascuna zona sono state associate alcune informazioni rilevanti, in particolare: superficie territoriale (km²), numero di abitanti e densità residenziale (ab/km²), numero di addetti nei settori produttivi per diverse classificazioni merceologiche⁷, indicatori aggregati macroeconomici (PIL, distribuzione del PIL pro-capite ecc...), dati di traffico (tonnellate emesse/attratte per anno e per tipologia di merce). Tali dati sono stati altresì raccolti in forma di serie storiche per tutte le zone all'interno del territorio di pertinenza EUROSTAT.

2.3.2 Modello di offerta stradale

2.3.2.1 Modello topologico

Il modello topologico di offerta stradale è stato costruito a partire da un grafo di partenza a disposizione del Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti, opportunamente integrato e aggiornato utilizzando altri grafi grezzi disponibili grazie a progetti GIS open source che, sul web, forniscono shapefiles della rete stradale di numerosi Paesi a livello mondiale.

Coerentemente con il livello di zonizzazione adottato (paragrafo 2.3.1), sono state estratte tutte le infrastrutture stradali rilevanti per la connessione tra le zone dell'area di studio e da/verso l'ambiente esterno. In aggiunta, al fine di modellare correttamente gli spostamenti multimodali e intermodali a livello di singoli terminali (paragrafo 2.3.6), sono state considerate anche tutte le infrastrutture stradali di accesso/egresso ai nodi di interscambio con

⁷ Per dettagli si rimanda al Capitolo 3.

le modalità ferroviaria, marittima e di navigazione interna. Complessivamente, sono stati presi in considerazione 704.989 chilometri di rete stradale, rappresentati attraverso 63.109 archi bidirezionali e 50.870 nodi. Come detto nel paragrafo precedente, agli archi rappresentativi delle infrastrutture stradali sono stati poi aggiunti i connettori di zona. Un esempio del livello di dettaglio della rete stradale estratta è riportato per completezza nella seguente Figura 19.



Figura 19 – Modello topologico di offerta stradale: dettaglio relativo alla zona dell'Italia

Una volta disegnato il grafo stradale, si sono raccolte e/o calcolate per ciascun arco tutte le caratteristiche topologiche e funzionali necessarie per la successiva implementazione del modello analitico (paragrafo 2.3.2.2). In primo luogo, sono state identificate sette tipologie di archi stradali: autostrade, superstrade, rete primaria nazionale, rete regionale, rete locale, archi di continuità territoriale con le isole non dotate di porti nel modello di offerta marittima (paragrafo 2.3.3), connettori. A ciascun arco sono poi stati associati i seguenti dati: lunghezza (km), direzione di marcia, indice di tortuosità, classe di pendenza.

In particolare, l'indice di tortuosità it_l del generico arco l è stato calcolato con la seguente relazione:

$$it_l = 1 - \frac{l_{lin}}{l_{eff}} \quad (2.1)$$

dove l_{eff} e l_{lin} rappresentano rispettivamente la lunghezza effettiva dell'arco e quella linearizzata, ottenuta come distanza euclidea a partire dalle coordinate geografiche dei nodi iniziali e finali dell'arco. In questo modo, se l'arco è perfettamente rettilineo risulta $l_{eff} = l_{lin}$ e quindi $it_l = 0$ mentre per archi estremamente tortuosi il rapporto l_{lin} / l_{eff} tende a ridursi e quindi it_l si avvicina ad uno.

Per quanto riguarda la pendenza, parametro rilevante che condiziona sia le velocità sia i consumi di carburante (paragrafo 2.3.2.2), non si avevano a disposizione informazioni dettagliate. Per associare comunque a ciascun arco del grafo una valutazione quantitativa del suo andamento altimetrico si è allora proceduto utilizzando delle geogriglie messe a disposizione sia dall'EUROSTAT sia dalla NASA⁸, costituite da una griglia di punti di rilevazione sulla superficie terrestre, campionati a distanza fissa a seconda del livello di dettaglio della geogriglia. Poiché tra le informazioni associate ai punti della griglia vi è anche l'altitudine sul livello del mare, si è proceduto come segue:

- a ciascun arco del grafo stradale, attraverso una normale funzionalità di banda disponibile in tutti gli strumenti GIS, sono stati associati tutti i punti della geogriglia entro una certa distanza, fissata pari a 30 metri;
- si sono quindi calcolate media e deviazione standard campionarie delle altitudini dei punti di ciascun arco;
- sulla base di alcuni archi italiani per i quali si disponeva anche dell'informazione esatta circa la pendenza è stata costruita una tabella di corrispondenza tra deviazione standard campionaria delle altitudini e classe di pendenza;
- a ciascun arco è stata quindi associata la classe di pendenza corrispondente al suo valore di deviazione standard campionaria di altitudini, ed a ciascuna classe di pendenza è stato associato un valore di pendenza medio.

In Figura 20 è riportato uno zoom relativo alla geogriglia e agli archi con le bande, mentre

⁸ In Europa il riferimento è il progetto Corine Land Cover della European Environmental Agency (EEA) disponibile all'indirizzo web <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> mentre per la NASA è di riferimento il progetto GDEM (Global Digital Elevation Model) condotto con il Ministero dell'Industria giapponese, disponibile all'indirizzo web <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/index.html>.

in Tabella 5 la corrispondenza tra deviazione standard campionaria delle altitudini e classe di pendenza nonché il valore di pendenza medio per ciascuna classe.

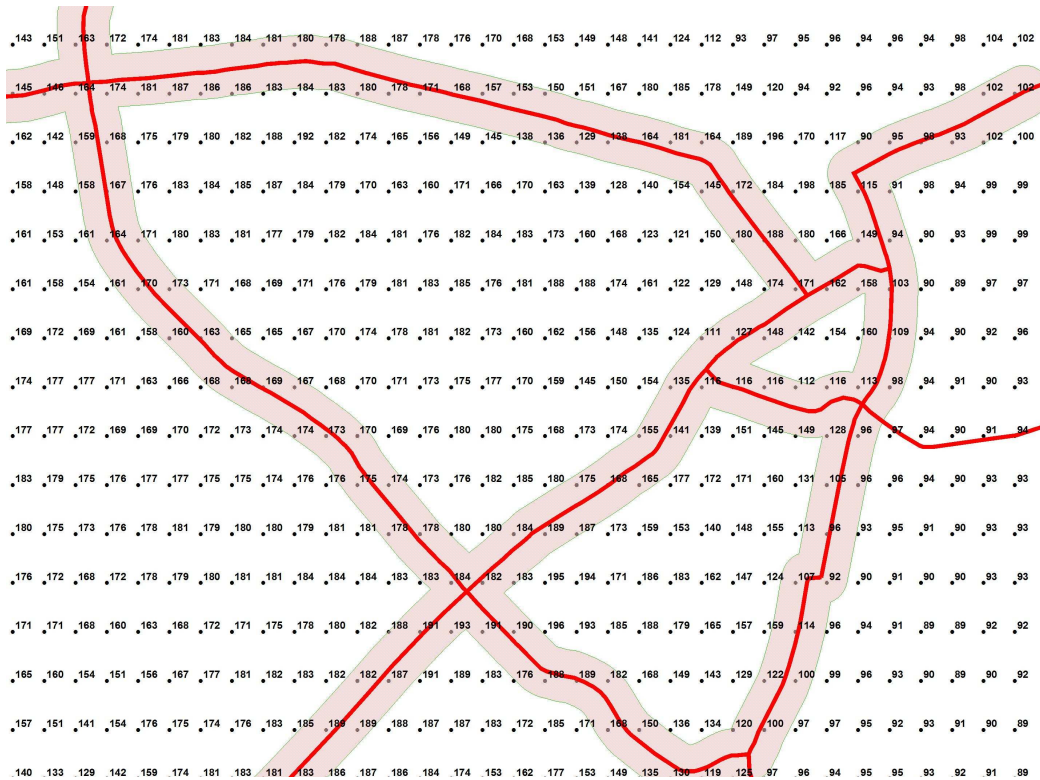


Figura 20 – Esempio della procedura di calcolo delle pendenze degli archi stradali (i punti accanto alla geogriglia indicano l’altitudine in metri s.l.m.)

classe di pendenza	descrizione	range di deviazione standard	pendenza media (%)
1	pianura	< 20	0
2	collina	tra 20 e 50	2.5
3	montagna	tra 50 e 100	5
4	alta montagna	> 100	7.5

Tabella 5 – Corrispondenza tra deviazione standard campionaria delle altitudini e classe di pendenza di arco

La procedura adottata ha ovviamente un certo livello di approssimazione, in particolare fallisce quando l’arco stradale è in galleria e i punti della geogriglia indicano l’altitudine della montagna che vi è sopra. A ciò si è ovviato in fase di assegnazione della classe di pendenza a ciascun arco, per la quale si è tenuto conto anche del tipo di infrastruttura stradale (ad es. un’autostrada ha dei parametri di progetto dell’andamento plano-altimetrico molto diversi da quelli di una strada di interesse locale): in particolare, come riportato nei valori riassuntivi di Tabella 6, si è associato a ciascun tipo di arco un valore di classe di pendenza massimo raggiungibile.

tipo arco stradale	classe pendenza massima
autostrade	1
superstrade	2
rete primaria nazionale	2
rete regionale	4
rete locale	4
archi continuità territoriale	n.a.
connettori	4

Tabella 6 – Classe di pendenza massima ammissibile in funzione del tipo di arco

Sempre ai fini dell'implementazione del modello analitico, a ciascun arco stradale devono essere associate anche caratteristiche relative alla geometria della sezione trasversale, in particolare il numero di corsie, la larghezza della banchina laterale e la larghezza complessiva della carreggiata per senso di marcia. Laddove disponibili, questi dati sono stati direttamente aggiunti agli archi corrispondenti del grafo; per i rimanenti si sono definiti dei valori standard in funzione anche della categoria di Paese in cui l'arco ricade, riportati nella seguente Tabella 7.

tipo arco stradale	categoria Paese	numero di corsie	larghezza banchina (m)	larghezza carreggiata (m)
autostrade	alta	3	2.2	9
	media	2	2.2	6
	bassa	2	2.2	6
superstrade	alta	2	2.2	6
	media	2	2	6
	bassa	2	2	6
rete primaria nazionale	alta	1	1.25	3
	media	1	1	3
	bassa	1	1	3
rete regionale	alta	1	1.25	3
	media	1	1	3
	bassa	1	1	3
rete locale	alta	1	1.25	3
	media	1	1	2.5
	bassa	1	1	2.5
archi continuità territoriale	alta	n.a.	n.a.	n.a.
	media	n.a.	n.a.	n.a.
	bassa	n.a.	n.a.	n.a.
connettori	alta	1	1.25	3
	media	1	1.25	3
	bassa	1	1.25	3

Tabella 7 – Caratteristiche standard della geometria trasversale per tipo di arco e categoria di Paese

Infine, sempre sfruttando le funzionalità consentite dagli strumenti GIS, sono stati individuati ed etichettati come archi di confine tutti gli archi stradali intersecanti confini tra Paesi tra i quali sono previsti controlli di carattere doganale. Inoltre, come si dirà nel

paragrafo seguente, bisogna considerare che non tutti i Paesi dell'area di studio adottano forme di regolazione dei tempi di sosta e di fermata per il trasporto stradale delle merci: per questo motivo, a ciascun arco è stata associata un'informazione booleana di presenza o assenza di tali normative.

2.3.2.2 *Modello analitico*

L'implementazione del modello analitico richiede la definizione di funzioni di prestazione e di impatto per ciascun elemento del grafo stradale. Tali caratteristiche dipendono in primo luogo dalla tipologia di arco e dalle sue caratteristiche fisiche e geometriche definite nel modello topologico; esse sono però condizionate anche da altri fattori, quali il tipo di veicolo stradale preso in considerazione, la tipologia di merce trasportata, il titolo di trasporto⁹, la quantità di merce trasportata, l'organizzazione del trasporto¹⁰, determinando quindi una complessità non sufficientemente trattata nelle funzioni di costo disponibili in letteratura, come descritto nello stato dell'arte.

In primo luogo, sono state definite quattro categorie di veicoli stradali: autovetture, veicoli commerciali leggeri (portata inferiore alle 3.5 t), veicoli commerciali medi (portata compresa tra 3.5 e 16 t), veicoli commerciali pesanti (portata superiore a 16 t). La scelta di includere le autovetture, anche se non direttamente rilevanti per il trasporto delle merci, è stata motivata da due fattori: in primo luogo, in alcune delle funzioni di costo presentate nel seguito i valori relativi ai veicoli merci sono calcolati a partire da quelli delle autovetture; inoltre, disporre dei dati relativi ai tempi e ai costi di viaggio per le auto costituisce un buon punto di partenza per la validazione del modello di offerta stradale.

Un primo parametro per il modello analitico è costituito dalla velocità di percorrenza massima a flusso nullo $V_{0,max}$ per tracciato rettilineo in pianura, che dipende dal tipo di strada, dal tipo di veicolo e dalla categoria del Paese in cui la strada ricade, secondo i valori in km/h fissati nella seguente Tabella 8.

⁹ Per titolo di trasporto si intende se chi trasporta la merce ne è anche il proprietario (trasporto in conto proprio) ovvero non ne è proprietario e svolge un servizio per altri clienti (trasporto in conto terzi).

¹⁰ Si intende qui, ad esempio, la scelta se viaggiare con uno o con due autisti: essa condiziona, come si vedrà tra breve, il numero di ore di riposo e di sosta di guida necessariamente imposte dalle normative europee.

tipo di veicolo	categoria Paese	tipo di strada						
		autostrade	superstrade	rete primaria nazionale	rete regionale	rete locale	archi continuità territoriale	connettori
auto	alta	130	110	90	80	60	50	40
	media	120	100	90	75	55	50	40
	bassa	120	100	90	75	55	50	40
leggeri	alta	100	90	70	70	60	50	40
	media	100	90	70	65	55	50	40
	bassa	100	90	70	65	55	50	40
medi	alta	100	80	70	65	55	50	40
	media	100	80	65	60	50	50	40
	bassa	100	80	65	60	50	50	40
pesanti	alta	80	70	65	55	50	50	40
	media	80	70	55	50	45	50	40
	bassa	80	70	55	50	45	50	40

Tabella 8 – Velocità massime a flusso nullo in km/h per tracciato rettilineo in pianura per tipo di arco stradale, tipo di veicolo e categoria di Paese

A partire dalle $V_{0,max}$ riportate in Tabella 8 si calcolano quindi le velocità effettive a flusso nullo $V_{0,eff}$ per ciascun arco l in funzione del suo grado di tortuosità it_l calcolato con la (2.1) e della sua pendenza media p_l desunta dalla Tabella 6. In particolare, per le autovetture si è utilizzata la seguente relazione ottenuta modificando empiricamente la relazione sperimentale messa a punto dal CNR per le strade italiane (Cascetta, 2009):

$$V_{0,eff}^{auto} = V_{0,max}^{auto} - 9.6it_l - 2.4p_l \quad [\text{km/h}] \quad (2.2)$$

nella quale it_l è espresso in scala [0,1] e p_l in percentuale. Per il generico veicolo merci vm , invece, si è utilizzata una relazione messa a punto dal TRRL (1980) in accordo con la quale risulta:

$$V_{0,eff}^{vm} = V_{0,max}^{vm} - 4.44it_l - 3.33p_l \quad [\text{km/h}] \quad (2.3)$$

dove le velocità $V_{0,max}^{vm}$ sono quelle riportate in Tabella 8.

Infine, per tener conto almeno approssimativamente degli effetti della congestione veicolare¹¹, laddove disponibili si sono raccolti valori di velocità a carico per le autovetture $V_{f,eff}^{auto}$ in base ai quali i valori di velocità effettiva calcolati con le (2.2) e (2.3) sono stati aggiornati prendendo il minimo tra essi e la velocità a carico per le autovetture. Come

¹¹ Si consideri che essa interessa prevalentemente infrastrutture interne alle zone di traffico, tenendo conto del livello di zonizzazione adottato, e dunque risulta rilevante solo per gli archi autostradali che sono utilizzati anche per la mobilità sistematica (e.g. Tangenziali di Milano in Italia).

risultato, quindi, si è calcolata per ciascun arco l e per ciascuna tipologia di veicolo v la velocità di percorrenza reale V_l^v , a partire dalla quale è immediato risalire al corrispondente tempo di running tr_l^v sull'arco l per la tipologia di veicolo v :

$$tr_l^v = \frac{L_l}{V_l^v} \quad [\text{h}] \quad (2.4)$$

dove L_l è la lunghezza dell'arco in km. Al tempo di running su ciascun arco va quindi aggiunto un eventuale tempo di waiting tw_l^v che dipende da alcune caratteristiche specifiche dell'arco. In particolare, assume importanza ai fini della ricerca il tempo di attesa alle barriere doganali degli archi di confine tra Paesi che prevedono controlli (si veda il paragrafo 2.3.2.1): a tal proposito, in assenza di dati specifici più dettagliati, si è assunto $tw_l^v=0.5$ h per le auto e $tw_l^v=1$ h per i veicoli merci.

Complessivamente, quindi, a ciascun arco è associato un tempo complessivo $t_l^v = tr_l^v + tw_l^v$ per tipologia di veicolo dato dalla somma del tempo di running e del tempo di waiting. Di conseguenza, dato un percorso k , è possibile calcolare a partire da $t_l^v \quad \forall l \in k$ il tempo di percorso additivo $t_{k,add}^v$ per la tipologia di veicolo v :

$$t_{k,add}^v = \sum_{l \in k} t_l^v = \sum_{l \in k} tr_l^v + tw_l^v \quad (2.5)$$

Un aspetto fondamentale nella costruzione del modello analitico di offerta stradale è che la componente additiva di percorso data dalla (2.5) rappresenta solo una aliquota del tempo di percorso complessivo, che deve invece tener conto anche dei tempi di sosta e di fermata imposti da varie normative¹². Adottando una necessaria ma accettabile semplificazione, la disciplina di guida prevista è la seguente:

- si può guidare per non più di 90 ore ogni 2 settimane, con una durata massima di guida di 56 ore in una settimana;
- nell'ambito della giornata occorre distinguere tra 1 autista e 2 autisti a bordo:
 - nel caso di 1 autista a bordo, occorre fermarsi 45 minuti ogni 4.5 ore di guida, e non si può guidare per più di 9 ore, anche se in alcuni casi è

¹² I dettagli sono nel regolamento UE 561/2006.

consentita un'ora di guida supplementare. Terminato il turno di guida, che dunque al massimo può essere di 10 ore di guida inframezzate da 1.5 ore di fermata, occorre effettuare un turno di riposo di 11 ore;

- nel caso di 2 autisti a bordo, terminato il turno del primo autista può iniziare immediatamente quello del secondo; una volta concluso quest'ultimo, occorre rispettare una sosta lunga. Ne consegue che complessivamente il veicolo può procedere per 19 ore – a cui corrispondono quattro fermate di 45 minuti, per complessive 3 ore – e deve poi sostare per 8 ore.

A partire da tali regole è possibile implementare un algoritmo che, a partire dal tempo di viaggio netto, calcola il numero di ore di sosta e di fermata necessarie e, quindi, la durata complessiva del viaggio. A tal proposito, occorre considerare che non tutti i Paesi dell'area di studio di Figura 16 adottano regolamenti di questo tipo, per cui la prima operazione da compiere è scindere il tempo totale di percorso dato dalla (2.5) in due aliquote relative rispettivamente alla parte $t_{k,add,norm}^v$ soggetta a normativa e a quella $t_{k,add,free}^v$ non soggetta a normativa:

$$t_{k,add}^v = t_{k,add,norm}^v + t_{k,add,free}^v$$

Tale operazione può essere immediatamente condotta tenendo conto che a ciascun arco è stata associata tale informazione nella fase di costruzione del modello topologico (paragrafo 2.3.2.1). Ciò premesso, l'algoritmo di calcolo determina innanzitutto il numero di settimane complessive di guida necessarie per il percorso k con la seguente formula:

$$n_{sett} = 2 \cdot \text{int}\left(\frac{t_{k,add,norm}^v}{90}\right) + \text{int}\left(\frac{t_{k,add,norm}^v - 90 \cdot \text{int}(t_{k,add,norm}^v / 90)}{56}\right) \quad (2.6)$$

nella quale il primo addendo calcola quante settimane sono necessarie di base (90 ore ogni 2 settimane) e il secondo addendo verifica se le restanti ore di guida (che per definizione devono essere minori di 90) sono maggiori di 56, richiedendo quindi una settimana di guida aggiuntiva. A questo punto è possibile calcolare il numero di ore di guida $t_{k,add,norm,res}^v$ residue non coperte da un'intera settimana, pari a:

$$t_{k,add,norm,res}^v = t_{k,add,norm}^v - 90 \cdot \text{int}\left(\frac{t_{k,add,norm}^v}{90}\right) - 56 \cdot \text{int}\left(\frac{t_{k,add,norm}^v - 90 \cdot \text{int}(t_{k,add,norm}^v / 90)}{56}\right) \quad (2.7)$$

A tale aliquota $t_{k,add,norm,res}^v$ va quindi applicata la parte di normativa relativa alle soste e fermate giornaliere, per cui l'algoritmo procede come segue:

$$s = \text{int}\left(\frac{t_{k,add,norm,res}^v}{t_{guida}}\right)$$

$$r = t_{k,add,norm,res}^v - t_{guida} \cdot s$$

$$n_{soste} = \begin{cases} s & \text{se } r > 1 \\ s - 1 & \text{se } r \leq 1 \text{ e } s > 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$n_{ferm} = \begin{cases} n_{soste} + \text{int}(r / 4.5) & \text{se } r > 1 \\ n_{soste} + 2 & \text{se } r \leq 1 \text{ e } s > 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

nelle quali t_{guida} vale 10 ore nel caso di singolo autista e 19 ore nel caso di due autisti. Complessivamente, quindi, il tempo totale di sosta e di fermata $t_{k,stop}^v$ da applicarsi ai veicoli merci medi e pesanti vale:

$$t_{k,stop}^v = 168 \cdot n_{sett} + t_{sosta} \cdot n_{soste} + 0.75 \cdot n_{ferm} \quad [\text{h}] \quad (2.8)$$

dove t_{sosta} vale 11 ore nel caso di 1 autista e 8 ore nel caso di 2 autisti. Sommando l'aliquota additiva di percorso data dalla (2.5) all'aliquota di sosta (2.8) si ottiene il tempo complessivo di viaggio $t_{k,tot}^v$ sul percorso k con il veicolo di tipologia v :

$$t_{k,tot}^v = t_{k,add}^v + t_{k,stop}^v \quad [\text{h}] \quad (2.9)$$

A tal proposito si ribadisce che per auto e per veicoli commerciali leggeri è $t_{k,stop}^v = 0$. Un aspetto teorico fondamentale legato alla (2.9) è che essa introduce una componente non additiva nell'impedenza temporale del generico percorso k , in quanto il tempo di sosta $t_{k,stop}^v$ è una caratteristica intrinseca del percorso, non associabile ai suoi singoli archi, che può essere calcolato solo una volta nota la componente additiva $t_{k,add}^v$. In generale, ciò porta alla conseguenza di non poter utilizzare i consueti algoritmi di calcolo dei percorsi di impedenza minima per ogni coppia o-d, che si basano sull'ipotesi di sola additività delle impedenze di percorso. Occorre però notare che $t_{k,stop}^v$ è una funzione monotona crescente di $t_{k,add}^v$,

caratteristica nota nella letteratura scientifica come sub-additività di $t_{k,stop}^v$ rispetto al percorso k . Di conseguenza, minimizzando $t_{k,add}^v$ si è anche sicuri di minimizzare $t_{k,stop}^v$ e dunque il tempo totale di percorso $t_{k,tot}^v$ avendone minimizzato gli addendi costituenti. Quindi, nelle applicazioni del modello si potranno continuare a utilizzare gli algoritmi di minimo percorso standard disponibili in letteratura.

Una volta calcolati i tempi di arco e di percorso con la procedura prima descritta, è possibile passare al calcolo dei costi monetari di arco e di percorso. A tal proposito, occorre sottolineare che le voci di costo da prendere effettivamente in considerazione sono numerose, ad esempio: remunerazione dell'autista, capitale immobilizzato nel veicolo, capitale immobilizzato nella merce trasportata, consumi di carburante, altri consumi (es. pneumatici, lubrificante), costi di gestione (es. assicurazione, manutenzione), pedaggi, tariffe e dazi doganali. Una prima difficoltà è che delle voci di costo elencate in precedenza:

- alcune sono proporzionali alla distanza percorsa, quindi additive per definizione, e dunque possono essere associate a ciascun arco e corrispondentemente a ciascun percorso come somma dei valori di arco corrispondenti (es. consumi, pedaggi parametrici con la distanza);
- altre sono caratteristiche puntuali, ad esempio le tariffe doganali da pagare alle barriere di confine, e possono essere quindi trattate come costi specifici di arco da sommare ai precedenti;
- altre sono proporzionali al tempo di viaggio, e vanno quindi direttamente associate a ciascun percorso a valle del calcolo del tempo totale con la relazione (2.9), ad es. costo autista, immobilizzazione capitale nel veicolo e eventualmente nella merce trasportata;
- altre ancora sono non dipendenti dalla distanza percorsa o dal tempo di viaggio, e sono legate a costi di esercizio in genere annui (es. assicurazione).

Tali differenze non sono, tra l'altro, sempre così nette: ad esempio, se un'azienda di autotrasporto ha un certo parco macchine e un certo numero di autisti, pagherà stipendi annui e quote di ammortamento che prescindono dal singolo viaggio effettuato, e quindi dalla distanza percorsa e dal tempo impiegato. Come si dirà tra breve, però, arrivare ad associare un

valore parametrico con la distanza e con il tempo ai costi di esercizio annui¹³ ha una importanza notevole: infatti, ciò consente di associare un costo generalizzato complessivo ad un dato percorso stradale e permette un confronto a parità di ipotesi con altre opzioni disponibili (percorsi alternativi sia con lo stesso modo sia con modi diversi). Tale costo generalizzato, che come detto potrebbe non avere una valenza comportamentale in quanto non tutte le sue aliquote sarebbero percepite dal decisore, va quindi interpretato come una misura di “inefficienza economico/finanziaria” del percorso preso in considerazione¹⁴. Una seconda difficoltà è legata alla circostanza che non tutte le voci di costo prima elencate vanno sempre prese in considerazione: ad esempio, se il trasporto avviene in conto proprio bisognerà monetizzare il capitale immobilizzato sia nei mezzi di produzione del servizio di trasporto sia nella merce stessa trasportata, mentre se avviene in conto terzi bisognerà considerare il solo valore immobilizzato dei mezzi di produzione. Quest’ultimo aspetto, insieme alla necessità di considerare le numerose variabili che incidono sulla determinazione dei costi, è stato opportunamente trattato e modellato introducendo degli specifici segmenti di offerta, come si descriverà in modo formale nel paragrafo 2.3.6.

Ciò premesso, si descrivono di seguito le funzioni di costo utilizzate per la modalità stradale.

Per quanto riguarda il consumo di carburante $c_{fuel_l}^v$ da parte del veicolo v per percorrere l’arco l si utilizza la seguente relazione:

$$c_{fuel_l}^v = \kappa_l^v \cdot L_l \cdot p_{fuel_{c(l)}}^v \quad [€] \quad (2.10)$$

nella quale L_l è la lunghezza dell’arco [km], $p_{fuel_{c(l)}}^v$ il costo del carburante per il veicolo di tipologia v [€/litro] nel Paese di categoria $c(l)$ di appartenenza dell’arco l e κ_l^v il consumo specifico di carburante per tipologia di veicolo sull’arco l espresso in litri/km. Per i veicoli merci κ_l^v è dato dalla relazione:

¹³ Ciò viene normalmente realizzato ipotizzando una percorrenza annua media (es. 100.000 km) e una data velocità commerciale (es. 50 km/h). In questo modo i costi espressi in €/anno vengono trasformati in costi in €/km oppure in €/h. Questa è la procedura che segue in genere CSST per la sua annuale indagine sull’autotrasporto.

¹⁴ Per esempio, un percorso di durata maggiore comporta una maggiore immobilizzazione degli *asset* della azienda (autisti e macchine), e quindi potrebbe diminuire la produttività annua dell’azienda stessa. Un percorso che minimizza il costo generalizzato nel senso qui definito è quello che determina la minor immobilizzazione complessiva.

$$\kappa_l^v = \frac{(V_l^v - 70)^2}{5700} + \varphi^v (1 + 0.58 p_l)$$

dove V_l^v e p_l sono rispettivamente velocità e pendenza dell'arco l e φ^v un coefficiente che vale 0.33 per i veicoli leggeri, 0.45 per i veicoli medi e 0.63 per i veicoli pesanti. Per le autovetture si è invece assunto κ_l^v pari a 0.067 l/km per autostrade e superstrade e a 0.10 l/km per tutte le altre tipologie di strada.

Il costo del carburante $p_{fuel_{c(l)}}^v$ nella (2.10) deve ovviamente essere differenziato per Paese: nella seguente Figura 21 è riportato il prezzo del gasolio per autotrazione al netto dei ristorni utilizzato nell'implementazione del modello di offerta. Nell'ambito della codifica del modello di offerta della presente ricerca (paragrafo 2.3.7) si è adottata una duplice possibilità: associare a ciascun arco il prezzo del carburante del Paese in cui esso ricade oppure differenziare il calcolo per coppia o-d associando a ciascun arco di tale spostamento la media dei costi di carburante nei Paesi di origine e destinazione rispettivamente.

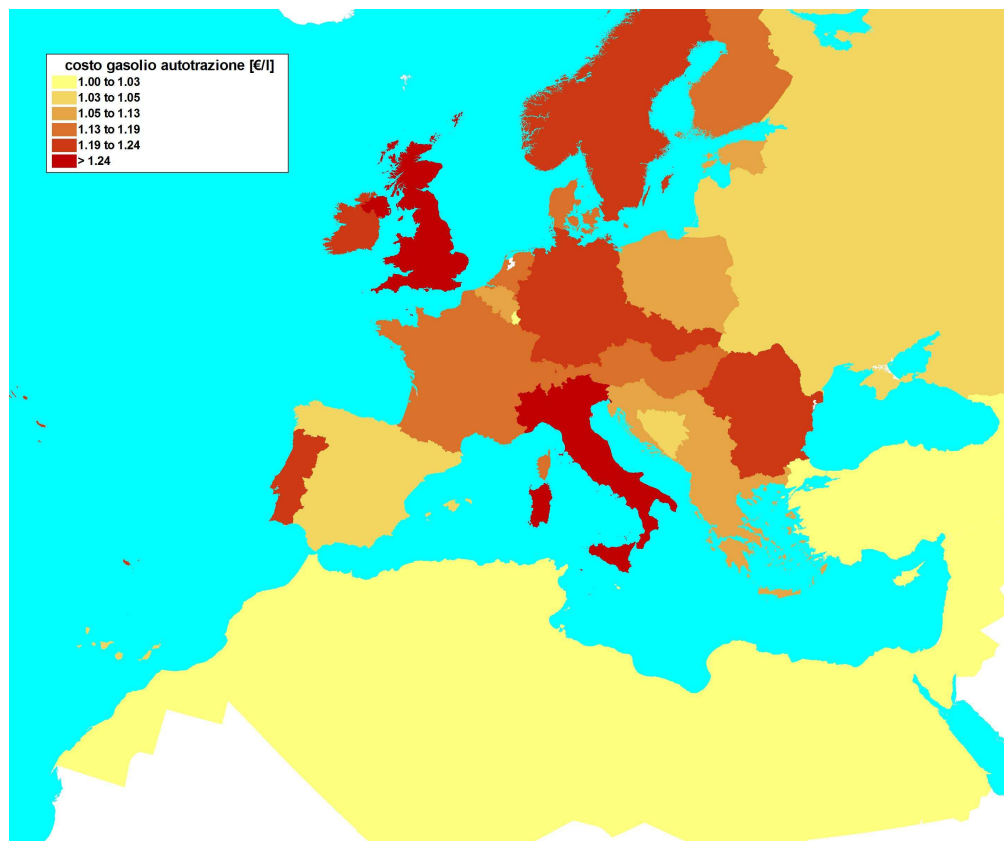


Figura 21 – Prezzo del gasolio per autotrazione al netto dei ristorni (dati al giugno 2010)

Per quanto riguarda i pedaggi, tenendo conto dell'ampiezza dell'area di studio si è deciso

di procedere introducendo solo pedaggi additivi, ovvero proporzionali alla distanza percorsa, rilevati a livello nazionale e internazionale sia dai dati delle società di gestione delle reti autostradali a pedaggio sia da studi e rilevazioni comparate disponibili nella letteratura tecnica¹⁵. Di conseguenza il pedaggio c_{toll}^v per arco e per tipologia di veicolo vale:

$$c_{toll}^v = toll_{c(l), p_l}^v \cdot L_l \cdot \delta_l \quad [\text{€}] \quad (2.11)$$

dove L_l è la lunghezza dell'arco, δ_l una variabile dummy che vale 1 se l'arco è a pedaggio e 0 altrimenti e $toll_{c(l), p_l}^v$ il pedaggio chilometrico unitario, differenziato per tipo di veicolo v , classe di pendenza¹⁶ p_l dell'arco l e categoria di Paese $c(l)$ di appartenenza dell'arco l (Tabella 9).

categoria Paese	classe pendenza	tipo di veicolo			
		auto	leggeri	medi	pesanti
alta	1	0.0540	0.0553	0.1084	0.1293
	2	0.0540	0.0553	0.1084	0.1293
	3	0.0643	0.0659	0.1285	0.1537
	4	0.0643	0.0659	0.1285	0.1537
media	1	0.0486	0.0498	0.0976	0.1164
	2	0.0486	0.0498	0.0976	0.1164
	3	0.0579	0.0593	0.1157	0.1383
	4	0.0579	0.0593	0.1157	0.1383
bassa	1	0.0432	0.0443	0.0867	0.1035
	2	0.0432	0.0443	0.0867	0.1035
	3	0.0515	0.0527	0.1028	0.1229
	4	0.0515	0.0527	0.1028	0.1229

Tabella 9 – Pedaggi chilometrici parametrici in funzione del tipo di veicolo, categoria di Paese e classe di pendenza dell'arco (valori in €/km)

Come detto in precedenza, poi, sono stati aggiunti pedaggi specifici puntuali per gli archi che lo prevedono esplicitamente, come è ad esempio il caso di alcune barriere di confine. Occorre infine sottolineare che alcune tariffe fittizie di confine sono state esplicitamente introdotte anche per modellare la presenza di tasse di ingresso dei veicoli pesanti praticate da alcuni Paesi, come ad esempio la Svizzera.

Il costo dell'autista c_{driv}^v relativo ad un percorso k per un veicolo di tipologia v è stato calcolato moltiplicando semplicemente il tempo totale di viaggio desunto dalla (2.9) per un

¹⁵ Ci si riferisce in particolare all'indagine svolta periodicamente dal CSST per conto del "Comitato Centrale per l'Albo degli Autotrasportatori di cose per conto di terzi", che confronta i pedaggi di diversi paesi Europei.

¹⁶ La dipendenza dalla classe di pendenza è legata al fatto che in genere la manutenzione delle autostrade di montagna è più onerosa e di conseguenza anche i pedaggi sono più alti.

costo orario medio $driv_c$ funzione del Paese c e per il numero di autisti n_{driv} :

$$c_{driv_k}^v = n_{driv} \cdot driv_c \cdot t_{k,tot}^v \quad [€] \quad (2.12)$$

In prima battuta, il valore di $driv_c$ è stato assunto pari a 20 €/h per i Paesi di categoria alta, 10 €/h per categoria media e 7 €/h per categoria basa. Inoltre, nella fase di codifica del modello, è stata prevista la possibilità di scegliere se associare a ciascuno spostamento o-d il valore del costo autista all'origine, alla destinazione oppure (se diversi) una media dei due.

Il costo di immobilizzazione (ammortamento) del mezzo $c_{amm_k}^v$ relativo ad un percorso k per un veicolo di tipologia v è stato anch'esso calcolato moltiplicando il tempo totale di viaggio dato dalla (2.9) per un coefficiente che esprime il valore orario dell'ammortamento amm^v per il veicolo di tipologia v :

$$c_{amm_k}^v = amm^v \cdot t_{k,tot}^v \quad [€] \quad (2.13)$$

A partire da una serie di studi condotti a livello nazionale ed internazionale si è deciso nella presente ricerca di assumere $amm^v = 15$ €/h per un veicolo pesante tipo costituito da una motrice (trattore) e da un semirimorchio a ralla (trailer)¹⁷. A partire dal valore definito per i veicoli pesanti sono poi stati calcolati quelli relativi alle altre tipologie di veicolo, utilizzando coefficienti di riduzione pari a 0.60 per i veicoli merci medi ($amm^v = 9$ €/h), a 0.40 per i veicoli merci leggeri ($amm^v = 6$ €/h) e 0.20 ($amm^v = 3$ €/h) per le autovetture. Come detto in precedenza, la quota di ammortamento oraria del mezzo data dalla (2.13) va considerata per trasporto sia in conto proprio sia in conto terzi.

L'aliquota di costo $c_{freight_k}^{m,v,w}$ derivante dall'immobilizzazione del capitale relativo al valore della quantità di merce w di categoria merceologica m trasportata con il veicolo di tipologia v dipende dal valore di risparmio del tempo ($VTTS$, *value of travel time savings*) per una singola tonnellata di merce di categoria m , indicato con $VTTS^m$, secondo la relazione complessiva:

$$c_{freight_k}^{m,v,w} = VTTS^m \cdot w \cdot t_{k,tot}^v \quad [€] \quad (2.14)$$

¹⁷ Il valore di 15 €/h corrisponde alla somma dell'ammortamento del trattore, stimato in 11 €/h, e del trailer, stimato in 4 €/h.

L'esatta determinazione di $VTT S^m$ è oggetto di complessi studi in letteratura, non del tutto esaustivi. In ogni caso, vale la pena far riferimento alle indicazioni del Ministero dei Trasporti francese che indica come range plausibile quello compreso tra 2.5 e 5 €/tonn per ora. Un aspetto molto importante da sottolineare riguarda le circostanze in cui l'aliquota di costo (2.14) va considerata e quelle in cui invece va trascurata. In generale, nel caso di conto proprio l'immobilizzazione del valore della merce va sempre preso in considerazione, perché chi trasporta la merce ne è anche il proprietario; d'altra parte, però, non lo si può sempre escludere nel caso di conto terzi, tipicamente perché gli attributi calcolati col modello di offerta qui descritto potrebbero essere utilizzati nell'ambito di un modello di scelta modale in cui il decisore è il proprietario della merce e, nello scegliere tra i diversi modi disponibili, ne pesa le prestazioni (tempi e costi) prendendo in considerazione anche il VTTS della merce. Nel seguito, quindi, la (2.14) sarà moltiplicata per un fattore ψ che vale 1 quando si deve prendere in considerazione e 0 altrimenti.

Per quanto riguarda i rimanenti costi c_{othl}^v relativi all'arco l per veicoli di tipologia v , si è proceduto con la relazione:

$$c_{othl}^v = oth_{c(l)}^v \cdot L_l \quad [\text{€}] \quad (2.15)$$

nella quale L_l è la lunghezza dell'arco l e $oth_{c(l)}^v$ il costo chilometrico rimanente per veicolo di tipologia v nel Paese di categoria $c(l)$ di appartenenza dell'arco l . Il punto di partenza per il calcolo di $oth_{c(l)}^v$ è rappresentato dalla già citata indagine periodica del CSST sui costi del trasporto merci su strada a livello nazionale e internazionale, che fornisce i valori di riferimento per l'anno 2008 riportati nella seguente Tabella 10.

Autoarticolato 5 assi - hp: 100'000 km/anno (Trasporto nazionale)									
Costi al 2008 [€/km]	Italia	Austria	Francia	Germania	Polonia	Slovenia	Spagna	Ungheria	Romania
Ammortamento	0.277	0.215	0.239	0.215	0.229	0.251	0.230	0.272	0.216
Assicurazioni	0.087	0.041	0.068	0.059	0.042	0.056	0.050	0.029	0.022
Tassazione veicolo	0.007	0.040	0.007	0.022	0.009	0.036	0.009	0.011	0.002
Pneumatici	0.129	0.091	0.079	0.108	0.062	0.074	0.090	0.074	0.052
Carburante	0.320	0.287	0.301	0.323	0.274	0.267	0.270	0.291	0.323
Manutenzione e Riparazione	0.090	0.075	0.084	0.071	0.051	0.064	0.070	0.061	0.048
Pedaggi autostradali	0.114	0.225	0.110	0.160	0.136	0.087	0.056	0.008	0.008
Conducente	0.515	0.511	0.567	0.479	0.240	0.367	0.408	0.283	0.222
Totale	1.539	1.485	1.455	1.437	1.043	1.202	1.183	1.029	0.893
Ristorni	0.146	0.104	0.116	0.102	0.091	0.105	0.104	0.108	0.086
Totale al netto dei ristorni	1.393	1.381	1.339	1.335	0.952	1.097	1.079	0.921	0.807

Tabella 10 – Costi di esercizio per autotrasporto nazionale in vari Paesi europei (valori in €/km, fonte: CSST 2008)

Innanzitutto, nella Tabella 10 compaiono costi già presi in considerazione in precedenza

(ovvero carburante, pedaggi, ammortamento e conducente), dunque da escludere nel calcolo c_{othl}^v . Per inciso, essi risultano in linea con i valori restituiti dalle corrispondenti funzioni di costo prima descritte¹⁸. Restano dunque da considerare assicurazioni, tassazione veicolo, manutenzione e riparazione, e bisogna anche tener conto dei ristorni che vanno a sottrarsi al costo totale. A tal fine, sulla base di alcuni riscontri operativi si è verificato che i costi di manutenzione e riparazione indicati in Tabella 10 sovrastimano quelli effettivamente sopportati dalle aziende di autotrasporto di circa il 30%. Operando questa riduzione si è giunti quindi ad una stima di $oth_{c(l)}^v$ riportata nella seguente Tabella 11. Per il trasporto individuale si è invece assunto un coefficiente di costo unitario medio pari a 0.05 €/km.

categoria di Paese	tipologia di veicolo		
	pesanti	medi	leggeri
alta	0.118	0.067	0.047
media	0.062	0.036	0.025
bassa	0.056	0.032	0.022

Tabella 11 – Stima dei costi chilometrici rimanenti di esercizio per autotrasporto in funzione della tipologia di veicolo e della categoria di Paese.

In conclusione, data una spedizione di peso totale w , il costo complessivo per un percorso k è dato dalla seguente relazione, ottenuta combinando opportunamente le voci di costo calcolate con le espressioni dalla (2.10) alla (2.15) prima descritte:

$$\begin{aligned}
C_k^{v,m,w} &= \left[\text{int} \left(\frac{w}{\bar{w}^v} \right) + 1 \right] \cdot \left[\sum_{l \in k} \left(c_{fuel_l}^v + c_{toll_l}^v + c_{oth_l}^v \right) + c_{amm_k}^v + c_{driv_k}^v \right] + \psi \cdot c_{freight_k}^{m,v,w} = \\
&= \left[\text{int} \left(\frac{w}{\bar{w}^v} \right) + 1 \right] \cdot \left[\sum_{l \in k} \left(\kappa_l^v \cdot p_{fuel_{c(l)}}^v + toll_{c(l), p_l}^v \cdot \delta_l + oth_{c(l)}^v \right) \cdot L_l + \left(amm^v + n_{driv} \cdot driv_c \right) \cdot \left(t_{k,add}^v + t_{k,stop}^v \right) \right] + \\
&+ \left(\psi \cdot VTTS^m \cdot w \right) \left(t_{k,add}^v + t_{k,stop}^v \right)
\end{aligned} \quad (2.16)$$

nella quale \bar{w}^v rappresenta la capacità media in peso di un veicolo di tipologia v e gli altri simboli hanno il significato prima introdotto; in questo modo si tiene conto di quanti veicoli di una data tipologia sono necessari per effettuare direttamente la spedizione di peso w . In particolare, nel seguito della ricerca si è assunto un carico medio \bar{w}^v per veicoli leggeri di 1.2 tonn, per veicoli medi di 14.4 tonn e per veicoli pesanti di 24 tonn¹⁹. È da notare che il costo dato dalla (2.16) dipende quindi dalla tipologia di veicolo v , dal Paese/i attraversato/i c , dal

¹⁸ Ad esempio, nel caso dell'ammortamento per l'Italia, 0.277 €/km corrispondono a 13.85 €/h considerando una velocità commerciale di 50 km/h.

¹⁹ Desunti dalle indagini sul trasporto internazionale della UIC e della Banca d'Italia, nonché da dati di Confetra.

numero di autisti scelto per effettuare il trasporto n_{driv} , dal titolo di trasporto (conto proprio o conto terzi), dalla tipologia di merce m e dal peso trasportato w .

È immediato riconoscere che anche in questo caso sono presenti una componente additiva ed una non additiva; in particolare, raggruppando diversamente i termini della (2.16) nel seguente modo:

$$C_k^{v,m,w} = \left[\text{int} \left(\frac{w}{\bar{w}^v} \right) + 1 \right] \cdot \left[\sum_{l \in k} \left(\kappa_l^v \cdot p_{fuel_{c(l)}}^v + toll_{c(l),p_l}^v \cdot \delta_l + oth_{c(l)}^v \right) \cdot L_l + (amm^v + n_{driv} \cdot driv_c) \cdot \left(\frac{L_l}{V_l^v} + tw_l^v \right) \right] + \quad (2.17)$$

$$+ \left(\psi \cdot VTTS^m \cdot w \right) \cdot \left(\frac{L_l}{V_l^v} + tw_l^v \right) + \left\{ \left[\text{int} \left(\frac{w}{\bar{w}^v} \right) + 1 \right] \cdot (amm^v + n_{driv} \cdot driv_c) + \psi \cdot VTTS^m \cdot w \right\} \cdot t_{k,stop}^v$$

si riconoscono tre componenti fondamentali:

- una componente additiva che esprime il costo monetario parametrizzato in €/km, data da $\kappa_l^v \cdot p_{fuel_{c(l)}}^v + toll_{c(l),p_l}^v \cdot \delta_l + oth_{c(l)}^v$;
- una componente additiva data da $\psi \cdot VTTS^m \cdot w + amm^v + n_{driv} \cdot driv_c$ corrispondente alla monetizzazione del tempo additivo associato agli archi del percorso, somma del tempo di running e del tempo di attesa dati dalla (2.5);
- una componente non additiva data sempre da $\psi \cdot VTTS^m \cdot w + amm^v + n_{driv} \cdot driv_c$ ma, rispetto al punto precedente, corrispondente alla monetizzazione del tempo di sosta di percorso sub-additivo dato dalla (2.8).

La presenza di valori di immobilizzazione della merce e degli asset di produzione del servizio di trasporto fa dunque sì che la (2.16) restituisca di fatto il costo generalizzato di trasporto.

È da notare in questo caso che la proprietà di sub-additività non è più verificata, in altre parole non è detto che il percorso di costo generalizzato minimo additivo sia anche il percorso di costo generalizzato minimo totale. Ad esempio, prendendo come riferimento la coppia o-d Milano-Napoli e ipotizzando di scegliere a priori di viaggiare con un dato numero di autisti, la minimizzazione dei costi generalizzati additivi potrebbe determinare un percorso non autostradale (ciò accadrebbe se il maggior costo di immobilizzazione derivante dal maggior tempo di percorrenza fosse compensato dal risparmio nei pedaggi), a cui potrebbe però corrispondere un tempo complessivo tale da indurre un $t_{k,stop}^v$ maggiore, e ciò potrebbe portare

a dei costi generalizzati non additivi di percorso tali da sovrastare il risparmio di pedaggio. Se poi si aggiunge come variabile anche il numero di autisti, le cose si complicano perché i costi generalizzati additivi si minimizzano sempre con 1 autista (a parità di tempo di running si hanno costi pari alla metà rispetto al caso con 2 autisti), mentre nella componente non additiva della (2.17) la parte in parentesi data da $\psi \cdot VTTS^m \cdot w + amm^v + n_{driv} \cdot driv_c$ è direttamente proporzionale al numero di autisti n_{driv} mentre il tempo $t_{k,stop}^v$ è inversamente proporzionale ad esso. D'altra parte, se si facesse riferimento al solo percorso di tempo complessivo minimo, risulterebbe sempre conveniente l'opzione 2 autisti e comunque si preferirebbero sempre percorsi a pedaggio, determinando quindi con tutta probabilità percorsi non di costo monetario minimo. Può quindi accadere che il percorso di tempo minimo totale non sia quello di costo generalizzato minimo totale. Infine, se si scegliesse di minimizzare il solo costo monetario si otterrebbero sicuramente percorsi non autostradali con tempi estremamente lunghi e monetizzazioni di immobilizzazione elevate.

Per procedere occorre quindi definire delle opportune euristiche di minimo percorso. Nella realtà ciò che governa il fenomeno è in molti casi rappresentato dal valore del tempo associato alla merce e agli asset: quando il VTTS è molto alto la merce è ad alto valore specifico e il costo di immobilizzazione prevale sul costo monetario, determinando la scelta di percorsi di tempo totale di viaggio minimo; viceversa, per VTTS bassi prevalgono i costi monetari e quindi si preferiscono percorsi di costo monetario minimo a scapito del tempo di viaggio. Quindi, a valle di numerose prove effettuate si è deciso di procedere come segue. Dato un numero di autisti n_{driv} , si calcolano:

- il percorso $k_{t_{min}}^{n_{driv}}$ di tempo totale minimo $t(k_{t_{min}}^{n_{driv}})$ con il suo corrispondente costo generalizzato totale $cg(k_{t_{min}}^{n_{driv}})$;
- il percorso $k_{cga_{min}}^{n_{driv}}$ di costo generalizzato additivo minimo $cga(k_{cga_{min}}^{n_{driv}})$ con il suo corrispondente tempo di viaggio $t(k_{cga_{min}}^{n_{driv}})$ e costo generalizzato totale $cg(k_{cga_{min}}^{n_{driv}})$.

Per ciascuna coppia o-d si hanno quindi a disposizione quattro minimi percorsi, rispettivamente di tempo totale minimo e di costo generalizzato additivo minimo per uno e per due autisti, ciascuno con il suo costo generalizzato totale: appare quindi naturale assumere

come percorso minimo quello di costo generalizzato totale più basso tra i quattro²⁰. In ogni caso, nella fase di codifica del modello di offerta si è consentito all'utente di scegliere rispetto a quale attributo di impedenza procedere per il calcolo dei minimi percorsi.

L'ultimo passo per completare il modello analitico stradale è quello di associare a ciascuna coppia o-d un prezzo di trasporto, desunto a partire dal costo generalizzato del minimo percorso. A tal fine, i dati riportati da Russo (2001) e dal secondo Progetto Finalizzato Trasporti del CNR (anch'esso risalente ai primi anni 2000) indicavano un ricarico compreso tra il 16% e il 22% in funzione del grado di sbilanciamento della coppia o-d. Tale forbice appare estremamente ottimistica alla luce delle condizioni attuali del mercato dell'autotrasporto, per cui si è deciso invece di ricorrere ad un valore di margine pari al 10%.

2.3.3 Modello di offerta marittimo

2.3.3.1 Modello topologico

A differenza del trasporto stradale (paragrafo 2.3.2.1), nel caso del trasporto marittimo non sono a disposizione grafi di base sufficientemente affidabili per l'implementazione del modello topologico per l'area di studio in questione: la difficoltà sta ovviamente nell'assenza di infrastrutture lineari definite, il che rende estremamente numeroso e complesso tracciare archi corrispondenti a tutte le possibili rotte di connessione tra porti. Per questo motivo si è seguito un approccio innovativo che sfrutta le possibilità offerte dagli strumenti GIS, in particolare dal software TransCad della Caliper Inc.; la procedura seguita, schematicamente illustrata in Figura 22, è articolata nelle seguenti fasi:

- si sono innanzitutto individuati i porti rilevanti per il trasporto merci nell'area Euro-Mediterranea, per complessivi 491 porti;
- tutta la porzione di mare rilevante per l'area di studio riportata in Figura 16 è stata suddivisa in 22 regioni convesse, ciascuna delimitata da un perimetro costituito da un opportuno numero di nodi (*fase 1*). Ovviamente, un numero maggiore di nodi consente di rappresentare con miglior approssimazione le rotte tra porti, ma determina un

²⁰ Ciò ha comunque delle conseguenze in fase di assegnazione: se si vuole infatti procedere con algoritmi a singolo passo, che cioè processano insieme tutte le destinazioni data una origine (o viceversa), occorre necessariamente utilizzare solo componenti additive di percorso. In altre parole, questa scelta di minimo percorso viene resa coerente con l'assegnazione solo se si procede separatamente per coppia o-d. Va però anche detto che, se il VTTS è alto, allora in genere prevale come detto il tempo di viaggio mentre se il VTTS è basso prevale il costo monetario: dunque si potrebbe pensare di scegliere un'impedenza caratteristica additiva per ciascuna categoria merceologica da utilizzarsi in fase di assegnazione. Nel seguito della ricerca è stata effettuata questa scelta.

maggior onere di implementazione;

- sfruttando un codice appositamente scritto in GISDK (linguaggio di programmazione di TransCad), si è costruita una routine che, dato un insieme convesso delimitato da punti, crea tutti i possibili archi di connessione tra tali punti all'interno dell'insieme (*fase 2*);
- a valle del punto precedente, tutti gli insiemi convessi con porzioni di perimetro in comune risultano tra loro già connessi, e resta solo da connettere i porti con tutti i punti significativi dei perimetri degli insiemi convessi ad essi prospicienti (*fase 3*). Questa operazione è stata condotta manualmente.

In conclusione si è ottenuto il grafo marittimo riportato in Figura 23.

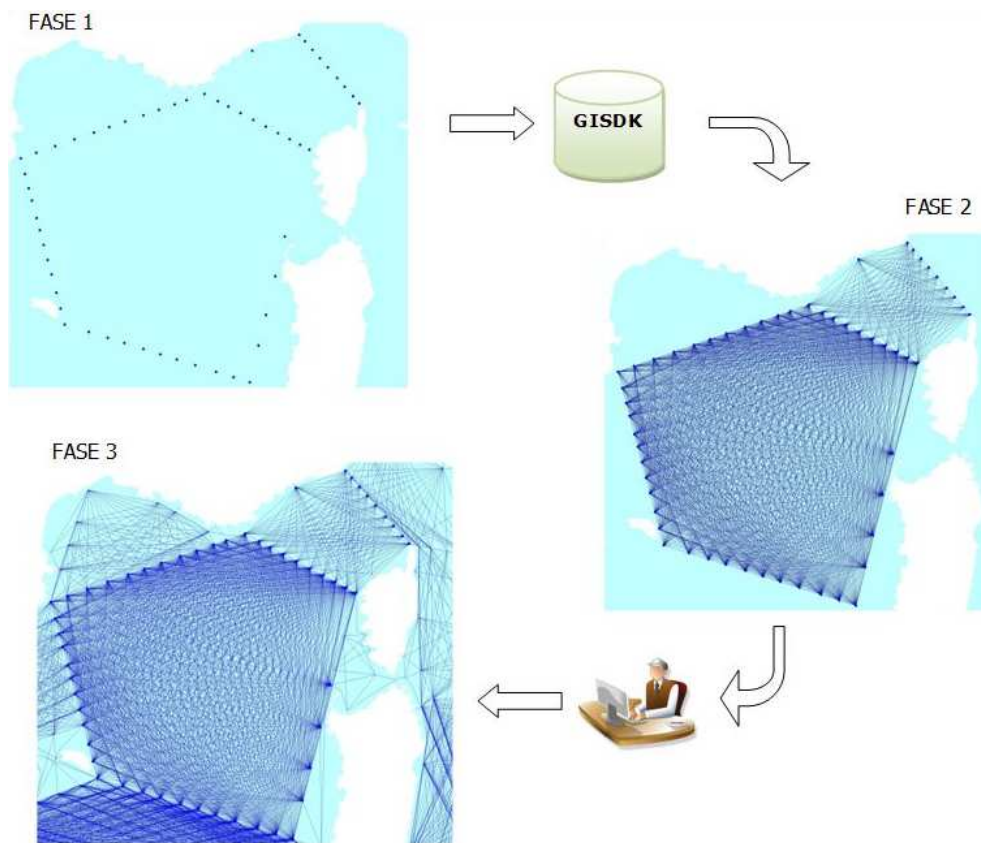


Figura 22 – Schematizzazione della procedura di implementazione del grafo marittimo

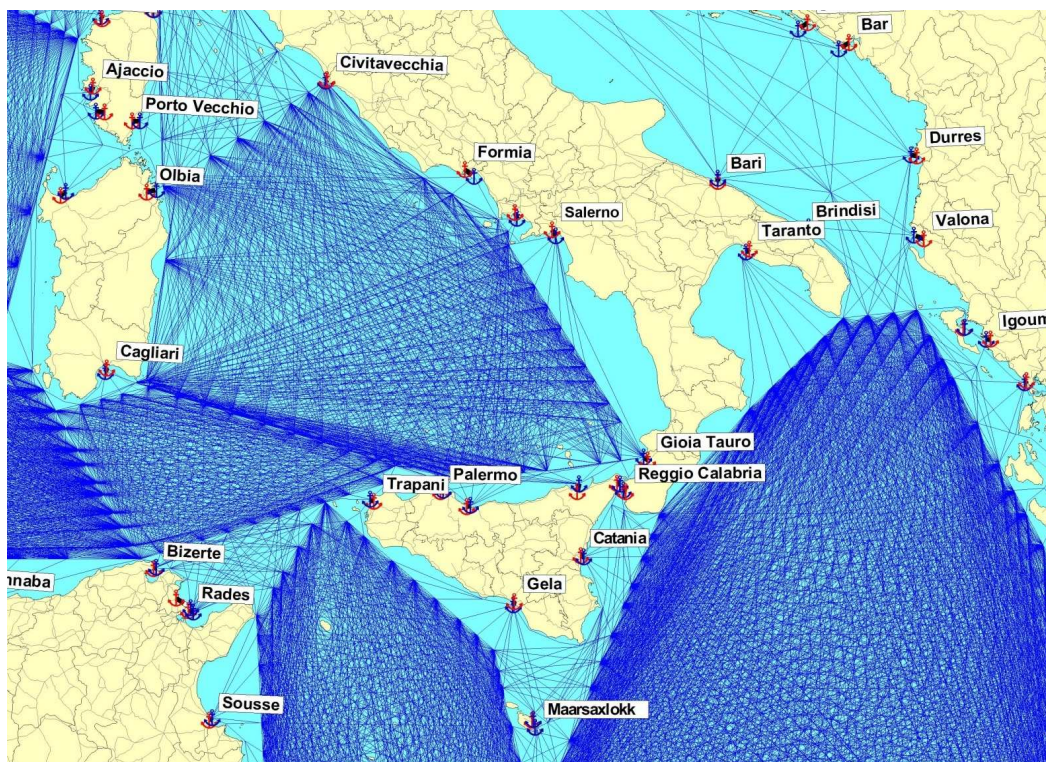


Figura 23 – Esempio del grafo marittimo implementato (stralcio)

Una volta costruito il grafo, si pone il problema di scegliere l’approccio più idoneo per la rappresentazione del modello topologico per il trasporto marittimo, discontinuo nel tempo e nello spazio, in accordo con quanto descritto nel paragrafo 2.2.1. A tal fine, occorre sottolineare che esistono alcune fonti che consentono di implementare un database dei servizi marittimi nell’area di studio. In primo luogo, quindi, sono state definite tre tipologie di servizi marittimi: container, Ro-Ro e bulk, e per ciascuna di esse è stato ricostruito un database di servizi per l’area di studio attraverso le seguenti fonti dati:

- lo *European Shortsea Network* (ESN) database insieme ai corrispondenti omologhi nazionali²¹, che fornisce per ciascun servizio informazioni in merito a: porti di origine/destinazione e sequenza di porti scalati, frequenza mensile, compagnia di navigazione, agenti di linea. Per alcuni servizi, inoltre, è disponibile il tempo di viaggio tra porti;
- i database internazionali di *AXS-Alphaliner* e *Containerization International*²², che forniscono le stesse informazioni di cui al punto precedente con particolare enfasi

²¹ Il database ESN è accessibile gratuitamente all’indirizzo web www.shortsea.info e i corrispondenti nazionali all’indirizzo web [www.shortsea.\[country_code\]](http://www.shortsea.[country_code]).

²² Sia AXS (www.axs-alphaliner.com) che CI (www.ci-online.co.uk) non sono ad accesso gratuito e richiedono un abbonamento annuale. Nel corso della presente ricerca sono stati utilizzati gli accessi gentilmente messi a disposizione da LOGICA Scarl (agenzia campana di promozione della logistica e del trasporto merci).

sui servizi container deep-sea e feeder. Inoltre, per ciascun servizio è anche fornita indicazione sulla capacità del naviglio impiegato.

Dopo un'attenta fase di pulizia e di controllo incrociato dei database elencati si è quindi ricostruita la quasi totalità²³ dell'offerta di servizi di short-sea shipping nell'area di studio: alcuni dati di sintesi sono riportati nella seguente Tabella 12, mentre in Figura 24 sono stati evidenziati i soli archi del grafo marittimo nella zona del Mediterraneo effettivamente utilizzati dai servizi marittimi nel database.

codice servizio	tipo di servizio	numerosità
BB	breakbulk	3436
FC	full container	3297
CR	container e ro-ro	1312
RR	ro-ro	841
CBR	container, breakbulk e ro-ro	625
CB	container e breakbulk	294
BR	breakbulk e ro-ro	117
CB/P	container, breakbulk e refeer pallet	11
totale		9933

Tabella 12 – Numerosità dei servizi censiti nel database del modello di offerta marittima

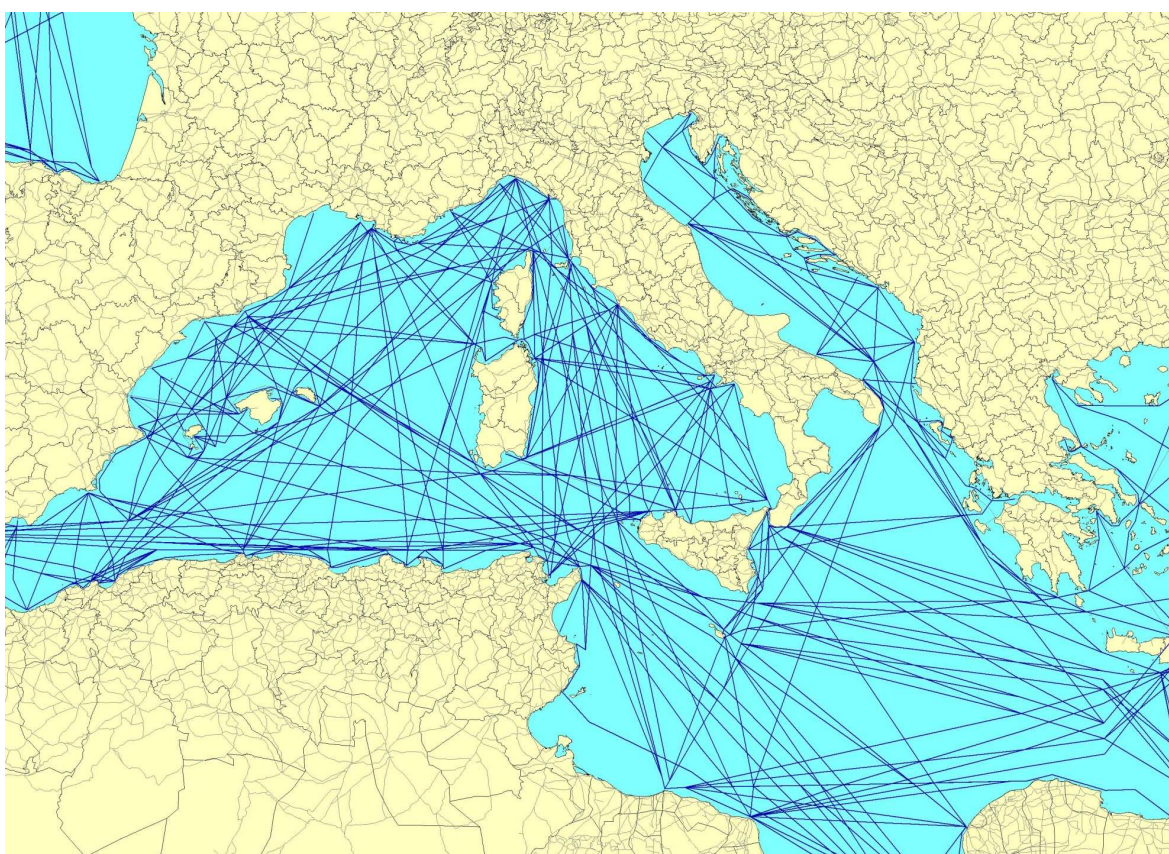


Figura 24 – Archi del grafo marittimo utilizzati da servizi marittimi attuali nella zona del Mediterraneo (stralcio)

²³ Va sottolineato infatti che i servizi qui censiti sono di tipo *liner*, ovvero erogati su base regolare, mentre vi sono tutti i servizi di tipo *tramp*, ovvero effettuati su richiesta di un committente, non censibili per la loro saltuarietà.

Inoltre, in Figura 25 e Figura 26 sono rappresentate le frequenze mensili caricate rispettivamente per i servizi full container e Ro-Ro/breakbulk.

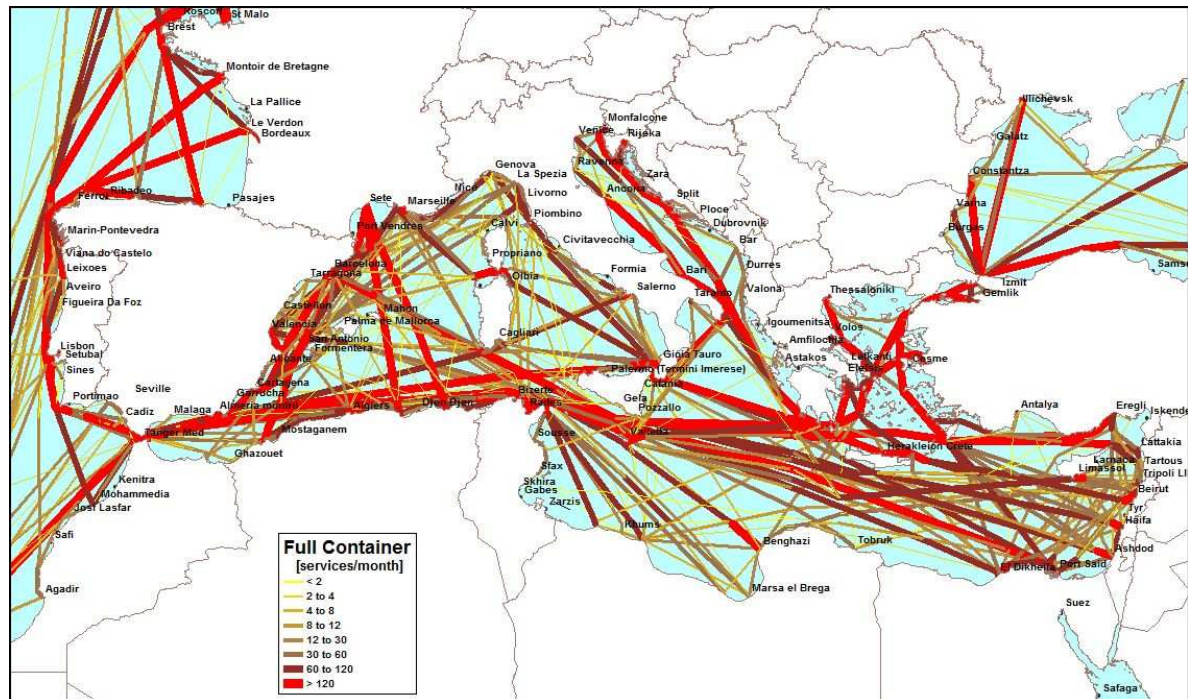


Figura 25 – Frequenza mensile dei servizi full container nel Mediterraneo caricati nel modello (stralcio)

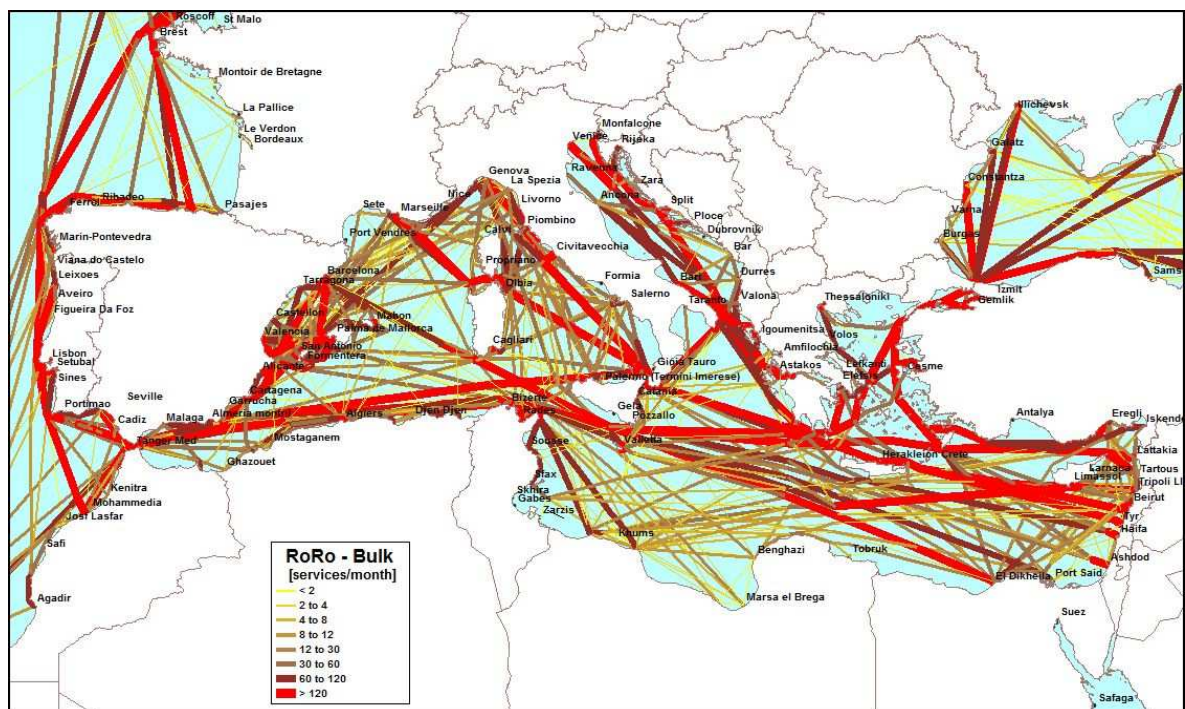


Figura 26 – Frequenza mensile dei servizi Ro-Ro e breakbulk nel Mediterraneo caricati nel modello (stralcio)

Resta quindi da definire l'approccio più idoneo per rappresentare tali servizi e di conseguenza il modello topologico di offerta marittimo. Evidentemente, un approccio di tipo

sincronico poco si adatta al trasporto marittimo, a causa della frequenza estremamente ridotta dei servizi marittimi; d'altra parte, però, l'approccio diacronico richiede un dettaglio sugli orari di partenza delle corse – nonché una complicazione a livello di simulazione della domanda, con la necessità di modellare gli orari desiderati di partenza/arrivo – non compatibile con il livello di dettaglio dei dati a disposizione.

D'altra parte, la frequenza gioca comunque un ruolo importante e non trascurabile nella modellazione dei servizi di trasporto marittimo. Ad esempio, si consideri una rete ideale costituita da tre porti (A, B e C rispettivamente) e si ipotizzi che sia disponibile un servizio tra i porti A e B con frequenza mensile, un servizio tra A e C con cadenza trisettimanale e un servizio tra C e B con cadenza settimanale; per semplificare, si ipotizzi che il costo generalizzato dei singoli servizi (al netto della frequenza) sia tale da rendere i percorsi AB (diretto) e ACB (con trasbordo in C) di pari costo generalizzato. Se nella modellazione di tale contesto non si tenesse conto della frequenza, si assegnerebbe pari probabilità di scelta ad entrambi i percorsi, mentre se si adottasse l'approccio sincronico descritto nel paragrafo 2.2.1 il percorso diretto AB sarebbe fortemente penalizzato da un irrealistico tempo medio di attesa di 15 giorni derivante dalla frequenza mensile. Nella realtà il fenomeno è sostanzialmente influenzato dalla frequenza con cui viene effettuata la singola spedizione. Ad esempio, se l'utente/decisore spedisce con frequenza mensile, si può supporre che riesca ad organizzarsi in modo tale che gli sia indifferente prendere il servizio diretto AB o quello con trasbordo ACB, ed è quindi accettabile che la probabilità sia pari a 0.50 per ognuno, sempre a parità di costo. Viceversa, se invece spedisce una volta alla settimana, la linea mensile diretta AB evidentemente non è ammissibile per tale obiettivo, per cui dovrà per forza di cose utilizzare il servizio ACB con trasbordo²⁴.

Ciò suggerisce dunque di adottare una opportuna segmentazione della domanda di trasporto per classi di frequenza di spedizione φ_s , e di prendere in considerazione per un dato segmento di domanda di frequenza φ_s solo i servizi marittimi che presentano una frequenza di servizio minore o uguale a φ_s . All'interno di tale sottorete dei servizi marittimi di frequenza minore o uguale a φ_s si può quindi ragionare direttamente come se si trattasse di un modo ad accesso temporale continuo.

²⁴ Anche in questo caso si potrebbe tener conto che, almeno una settimana al mese, sarebbero disponibili entrambe le alternative. Nella realtà, chi utilizza con regolarità un servizio marittimo tende a stipulare accordi contrattuali più o meno stabili con la compagnia di navigazione, e dunque tenderà ad utilizzare sempre lo stesso servizio. L'approssimazione introdotta sarebbe allora migliorabile solo se AB e ACB fossero gestiti dalla stessa compagnia.

Ciò posto, si tratta di dover stabilire il modello topologico per la predetta sottorete. A tal fine, occorre considerare un altro aspetto: come si vedrà nel paragrafo 2.3.3.2, i costi monetari associati attraverso il modello analitico a ciascun percorso marittimo tra due porti non sono in generale additivi, in conseguenza dell'andamento decrescente della tariffa in €/nm²⁵ con la distanza: non è quindi possibile associare ad un arco un costo parametrico rispetto alla sua lunghezza. Di conseguenza, per riprodurre tali costi non additivi attraverso il modello topologico, ciascun servizio marittimo definito da una sequenza di n_p porti $\{p_1, \dots, p_{n_p}\}$ deve essere rappresentato attraverso una “stella” di archi di connessione diretta tra ciascuna coppia di porti scalati dal servizio: è facile riconoscere che tali archi sono in numero pari a $2n_p(n_p-1)$ tenendo conto della bidirezionalità del servizio. In questo modo a ciascuna coppia di porti è possibile associare il reale costo monetario, rappresentandolo come impedenza additiva nel corrispondente arco della stella. Ai fini del calcolo dei minimi percorsi, è poi da notare che l'ipotesi di subadditività nei costi monetari – ovvero $d_1 < d_2 \rightarrow c(d_1) < c(d_2)$ essendo d_i la generica distanza e $c(d_i)$ il corrispondente costo monetario subadditivo – va comunque introdotta se si vuole garantire che il minimo percorso tra due porti A e B collegati con un servizio senza trasbordo sia sempre rappresentato dall'arco diretto AB della stella rappresentativa di quel servizio. Ovviamente, la rappresentazione dei servizi attraverso la predetta stella impone che a valle dell'assegnazione (paragrafo 3.6) sia necessario post-processare i risultati in modo da passare dai flussi su ciascun arco fittizio ai flussi sugli archi reali del servizio marittimo. A tal fine, poiché il generico arco fittizio è definito da una coppia di porti p_i e p_j , basterà prendere il suo flusso e sommarlo a tutti i segmenti reali del servizio compresi tra i porti p_i e p_j . È da notare però, per inciso, che questo approccio non consente di rappresentare direttamente la capacità dei servizi marittimi su ogni singolo arco, in quanto in realtà andrebbe confrontata con il flusso su un certo numero di archi fittizi²⁶.

In conclusione, per rappresentare quindi una data sottorete dei servizi marittimi di frequenza minore o uguale a φ_s con costi sub-additivi si utilizzerà la rappresentazione topologica riportata nella seguente Figura 27. Va sottolineato che in essa la presenza dei nodi di diversione non è legata all'utilizzo dell'approccio ad ipercammini, come detto, ma è funzionale solo per rappresentare eventuali impedenze differenziate negli archi di

²⁵ Il miglio nautico internazionale (nm) corrisponde a 1852 metri.

²⁶ Non è quindi possibile, in teoria, utilizzare direttamente le procedure di assegnazione standard. Nella pratica, se si pensa ad una assegnazione SUE, è sufficiente che, dopo ciascuna iterazione SNL condotta sulla rete “a stella”, si calcolino i flussi di arco veri come descritto e, sulla base di questi ultimi, i nuovi costi di arco veri da associare poi agli archi fittizi per la successiva iterazione SNL.

salita/discesa dei vari servizi marittimi rappresentati.

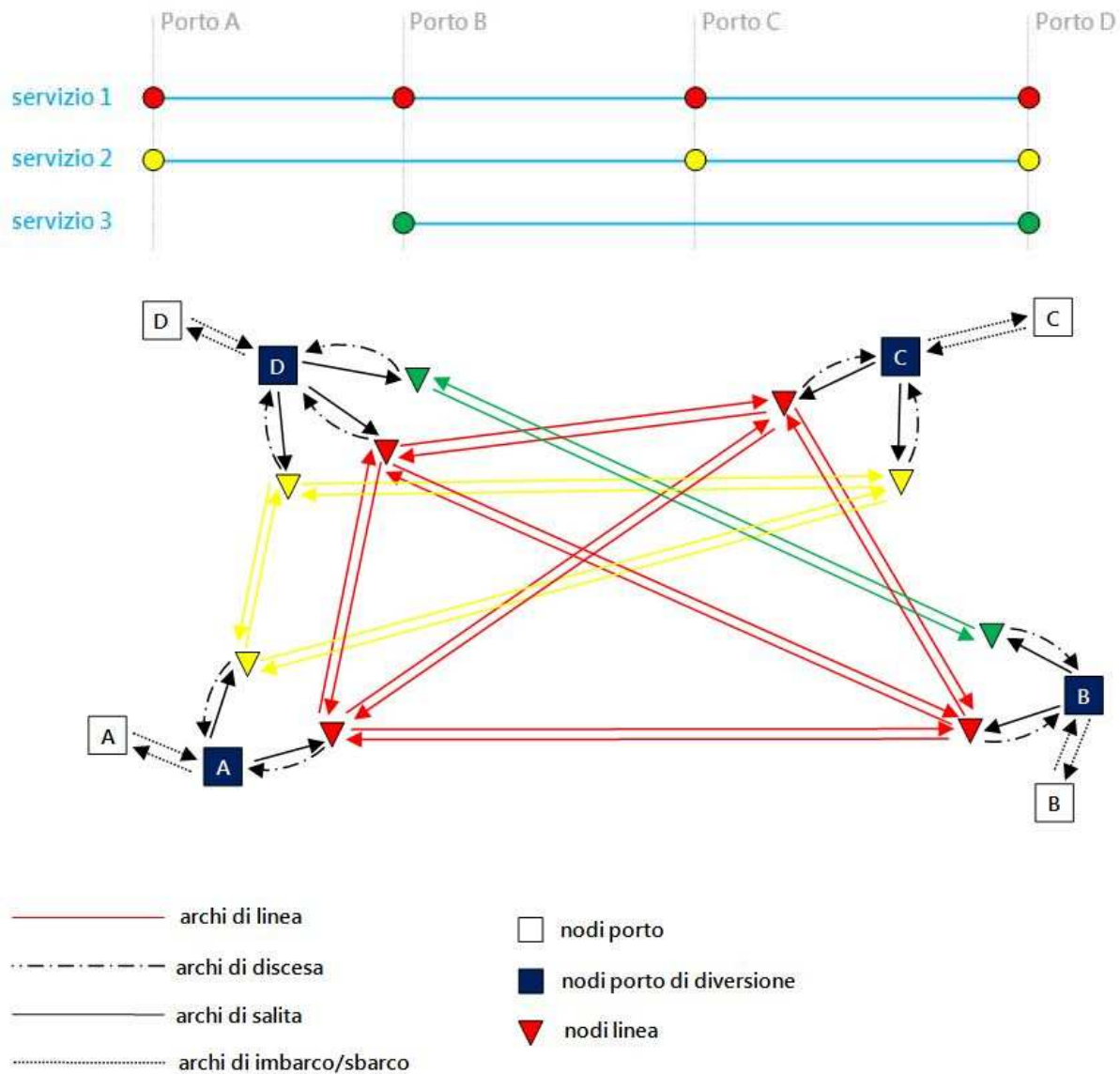


Figura 27 – Esempio di modello topologico utilizzato per la rappresentazione dei servizi marittimi

Altro aspetto meritevole di approfondimento nella rappresentazione topologica utilizzata è legato alle impedenze associate al transshipment tra servizi. Si riconosce infatti facilmente che il passaggio da un servizio all'altro avviene utilizzando in sequenza l'arco di discesa del primo servizio e poi l'arco di salita del servizio successivo: in altre parole, il modello topologico di Figura 27 impone di utilizzare le stesse funzioni di costo di salita/discesa sia che si tratti del primo/ultimo arco di utilizzo di un servizio sia che si tratti di un trasbordo tra servizi. Nei casi in cui questa ipotesi non sia realistica²⁷, si deve opportunamente modificare il

²⁷ Come si nota dal grafo di Figura 26, in molti casi è possibile assegnare opportunamente le impedenze anche agli archi di imbarco/sbarco in modo che quelli di salita/discesa siano uguali sia per il primo/ultimo accesso sia

modello di Figura 27 in modo da far figurare esplicitamente degli archi di trasbordo a cui associare la relativa impedenza. Il modo più intuitivo in tal senso è quello di introdurre degli archi di trasbordo diretti, così come rappresentato in Figura 28.

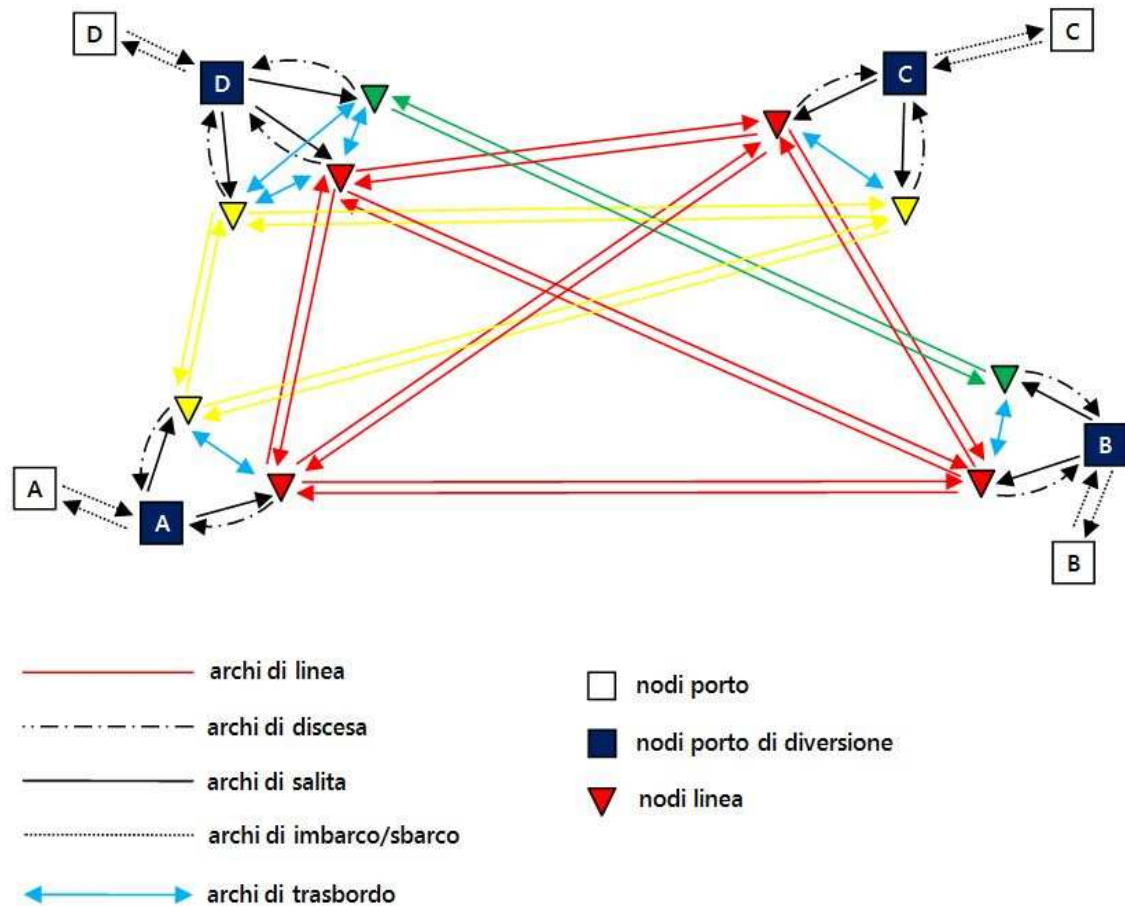


Figura 28 – Modifica del modello topologico di Figura 27 per tener conto di impedenze di trasbordo diverse da quelle di salita/discesa nel primo e ultimo segmento di spostamento rispettivamente

Questo approccio però può dare problemi nel calcolo dei minimi percorsi se le impedenze degli archi di trasbordo e quelle degli archi di salita e discesa (differenziate per servizio) assumono valori particolari: due esempi sono riportati nella seguente Figura 29.

per il transshipment. Si consideri però il caso di servizi marittimi di tipo Ro-Ro, e.g. lo stesso esempio dei tre porti A, B e C citato prima nel paragrafo. Nell'ipotesi che l'utente/decisore si organizzi per prendere indifferentemente il servizio AB diretto oppure quello ACB con trasbordo, all'arco di salita di ciascun servizio si può associare un tempo di attesa ad es. pari a 4 ore per le operazioni di caricamento del trailer sulla nave. Evidentemente, nel caso di servizio ACB con trasbordo ciò significherebbe che una volta scesi dal servizio AC sia immediatamente disponibile per l'imbarco il servizio CB. Ciò in generale può non accadere, e dipende dal coordinamento tra gli orari dei servizi. Per rendere tale variabile endogena nel modello, sarebbe utile associare all'arco di trasbordo verso C un tempo di attesa maggiore di 4 ore, tanto più grande quanto meno coordinati sono gli orari.

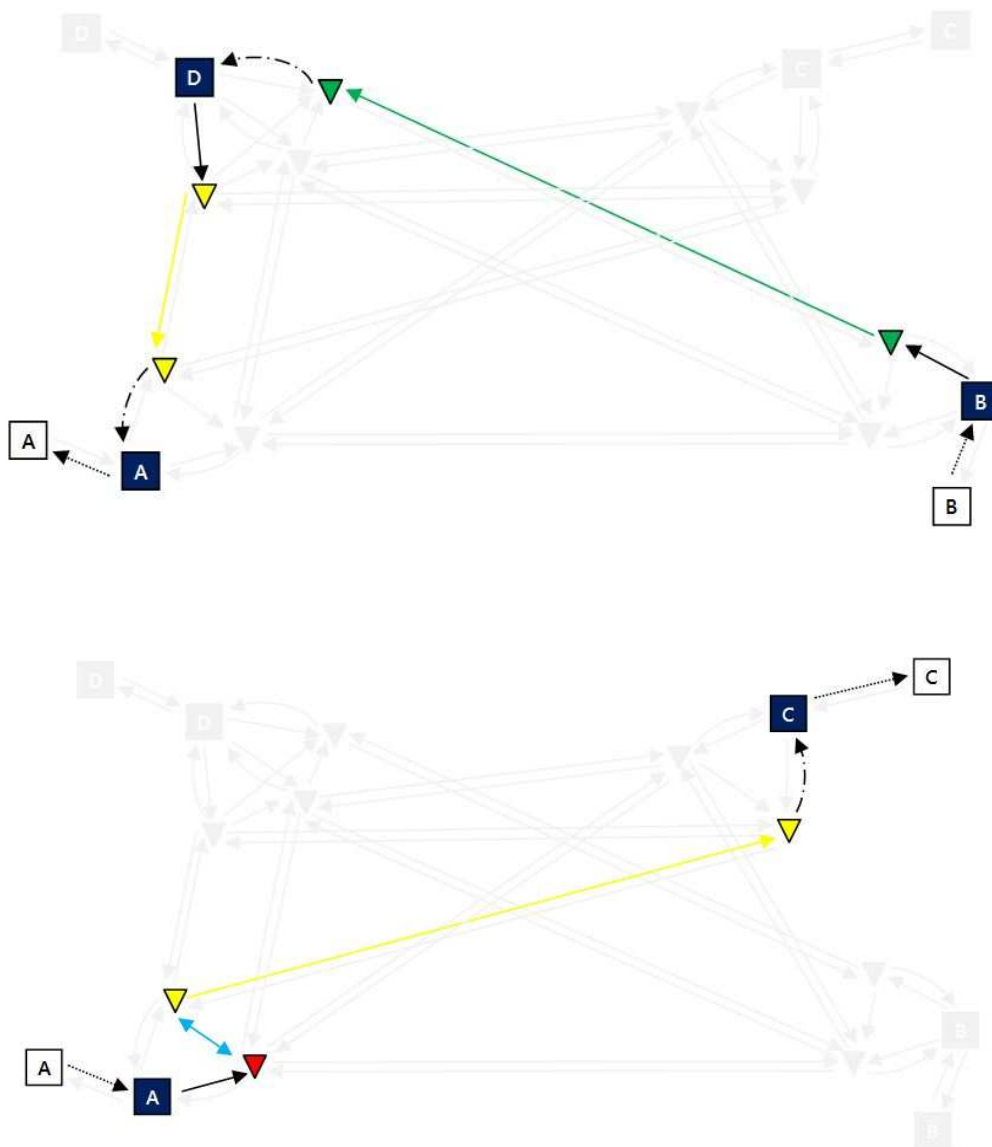


Figura 29 – Possibili errori nel calcolo dei minimi percorsi con l’approccio di Figura 28

In particolare, nell’esempio in alto accade che nel minimo percorso da B ad A con trasbordo in D la somma dell’impedenza di discesa dal servizio 3 (verde) e dell’impedenza di salita sul servizio 2 (in giallo) sia minore dell’impedenza sull’arco di trasbordo che dovrebbe essere invece utilizzato, mentre nell’esempio in basso accade che nel minimo percorso da A a C utilizzando il servizio 2 (in giallo) la somma delle impedenze dell’arco di salita sul servizio 1 (in rosso) e dell’arco di trasbordo dal servizio 1 al servizio 2 sia inferiore all’impedenza dell’arco diretto di salita sul servizio 2.

Il metodo proposto dalla presente ricerca per ovviare a questi inconvenienti è quello di modificare il modello topologico di Figura 27 introducendo delle opportune duplicazioni di alcuni archi e di alcuni nodi. In particolare, vengono duplicati tutti i nodi porto e tutti i nodi di

diversione (nodi *clonati* nel seguito), in modo che dai nodi non duplicati sia possibile solo accedere ai servizi marittimi e che nei nodi duplicati sia possibile solo o effettuare un trasbordo oppure sbarcare definitivamente; coerentemente, occorre quindi aggiungere degli archi duplicati e di linea. Inoltre, gli archi di salita partono solo dai nodi di diversione non duplicati, mentre tutti gli archi che dai nodi di diversione duplicati consentono di accedere ai servizi marittimi sono ora archi di trasbordo. Il modello topologico risultante è riportato in Figura 30, e per comodità in Figura 31 sono rappresentati i soli archi e nodi aggiunti rispetto alla rappresentazione base di Figura 27.

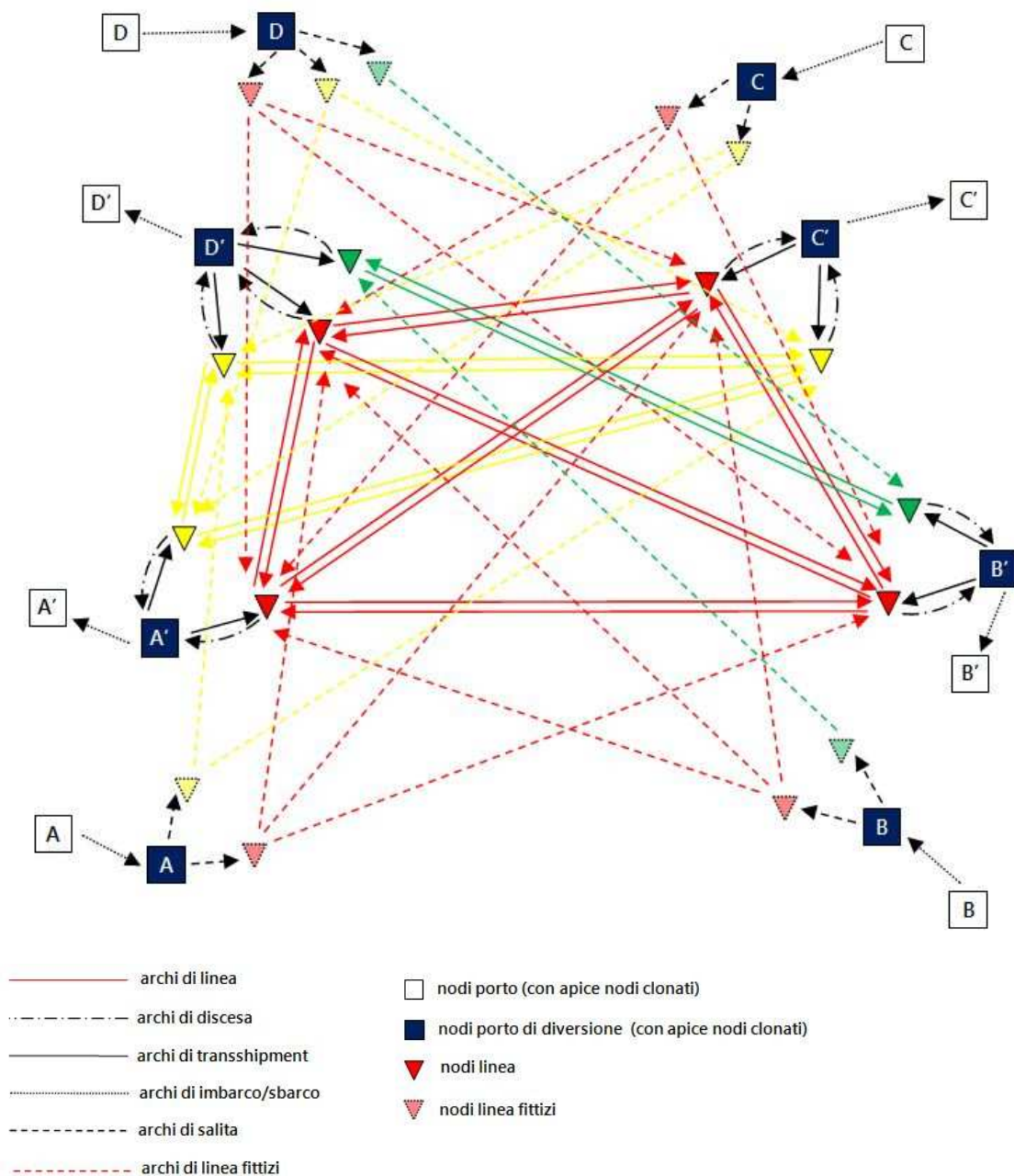


Figura 30 – Rappresentazione dei trasbordi con impedenze differenziate dagli archi di salita/discesa attraverso nodi e archi duplicati

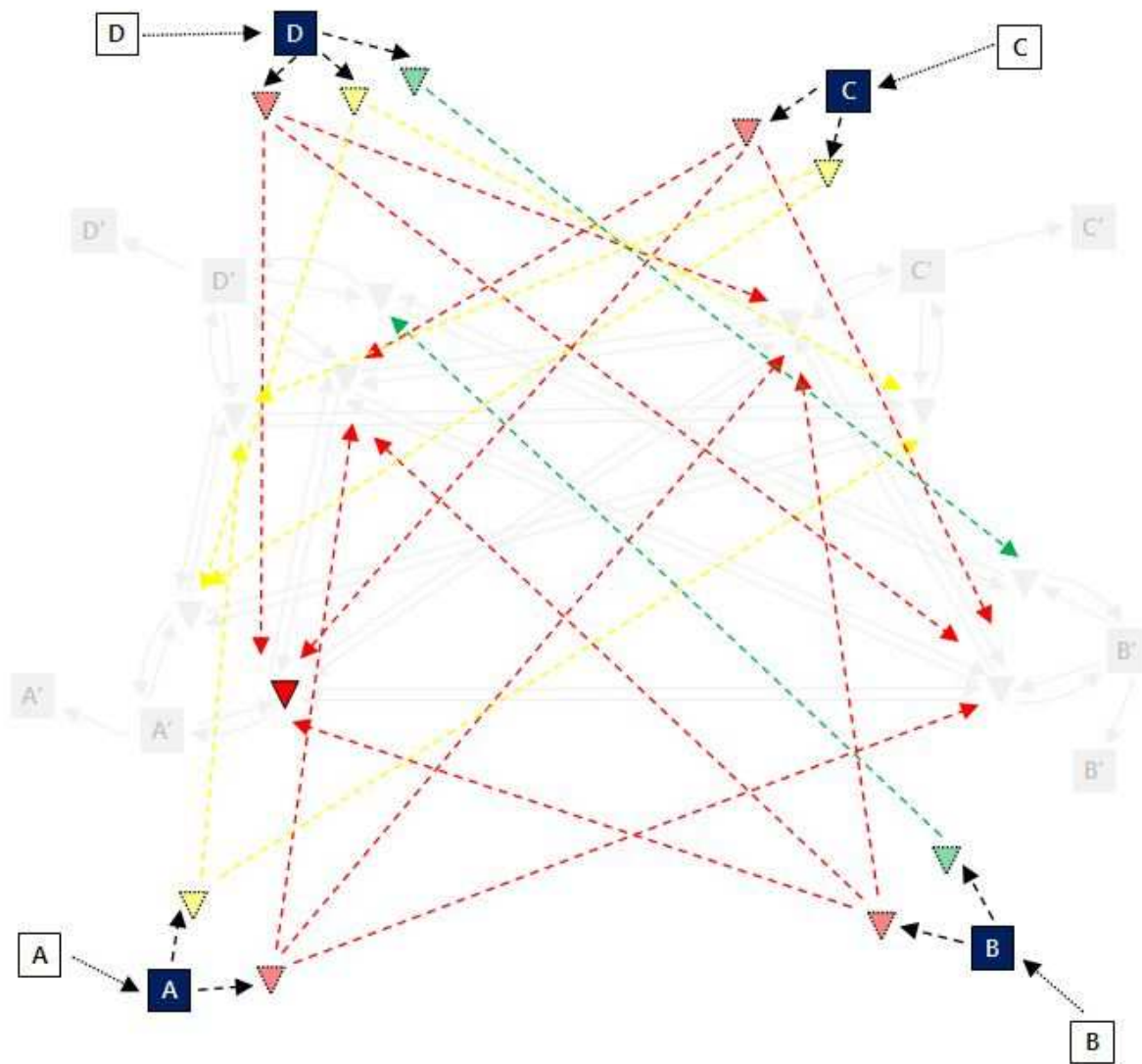


Figura 31 – Evidenziazione dei soli archi/nodi aggiunti nella rappresentazione di Figura 30 rispetto a quella di Figura 27

È facile verificare che, per ogni servizio, rispetto ai $2n_p(n_p-1)$ archi di linea utilizzati nella rappresentazione a stella di base ne vanno aggiunti altri $n_p(n_p-1)$ perché ogni porto va connesso con un solo arco di linea iniziale a tutti gli altri porti del servizio; l'incremento nel numero complessivo degli archi di linea è quindi del 50%. Si verifica altrettanto facilmente che tale rappresentazione evita i problemi di quella con archi di trasbordo diretti tra i nodi di linea.

2.3.3.2 Modello analitico

Per la costruzione del modello analitico si è proceduto innanzitutto a completare le informazioni mancanti nel database dei servizi marittimi costruito come indicato nel paragrafo precedente. In particolare, per calcolare i tempi di percorrenza mancanti si è associata a

ciascuna tipologia di servizio marittimo una velocità di crociera media, pari a 22 nodi per servizi Ro-Pax e container deep-sea e 15 nodi per servizi Ro-Ro, container feeder e bulk. Di conseguenza, a ciascun arco di linea del modello topologico di Figura 27 o Figura 31 (a seconda delle ipotesi sul transshipment) è associato il tempo di viaggio tr^s con il servizio marittimo di tipologia s tra i porti che costituiscono rispettivamente il nodo iniziale e finale di quell'arco di linea, desunto direttamente dalle fonti citate nel paragrafo 2.3.3.1 oppure calcolato come appena descritto.

I tempi associati agli altri archi del modello topologico (imbarco/sbarco, salita/discesa e trasbordo) sono anch'essi funzione della tipologia di servizio marittimo. In tal senso, rispetto alle tre categorie introdotte per la costruzione del database dei servizi marittimi, si è resa necessaria una ulteriore segmentazione per i servizi di tipologia Ro-Ro, differenti a seconda dell'opzione accompagnato/non accompagnato. Tali dati sono stati, ancora una volta, desunti direttamente da fonti dati disponibili oppure, se mancanti, assegnati in base ai valori di default riportati nella seguente Tabella 13, ipotizzati indipendenti dal numero di unità imbarcate o sbarcate.

tipo di servizio	imbarco in porto (sosta)	sbarco in porto (sosta)		salita	discesa	trasbordo
		senza dogana	con dogana			
bulk	144	144	168	72	72	144
container	144	144	168	4	4	96
Ro-Ro accompagnato	2	0.5	4	3	2	6
Ro-Ro non accompagnato	12	12	18	4	4	18

Tabella 13 – Tempi di imbarco, sbarco, salita, discesa e trasbordo di default utilizzati per completare le impedenze temporali di arco mancanti nel database dei servizi marittimi (valori in ore)

Si consideri infine che tutti i tempi associati agli archi del modello topologico di offerta marittima sono stati considerati non congestionati, per cui non si sono definite specifiche funzioni di costo. Per inciso, tutte le componenti di tempo considerate risultano additive rispetto al modello topologico di Figura 27 o Figura 31.

Per quanto attiene ai costi monetari, agli archi di imbarco/sbarco non sono stati associati costi specifici (dazi doganali nel modello di domanda) mentre agli archi di salita/discesa sono stati associati i corrispondenti costi per le operazioni portuali, funzione del tipo di servizio marittimo e in generale differenti da porto a porto. Essi sono stati quindi desunti da dati diretti, oppure assegnati parametricamente secondo i valori riportati nella seguente Tabella 14. Va anche sottolineato che, nel caso di Ro-Ro accompagnato²⁸, si è introdotta la

²⁸ Per il non accompagnato in genere si utilizzano solo trailer e quindi la tipologia di veicolo stradale

semplificazione di non considerare una ulteriore differenziazione in funzione del tipo di veicolo stradale utilizzato.

tipo di servizio	salita	discesa	trasbordo
bulk	35	35	35
container	70	70	70
Ro-Ro accompagnato	0	0	0
Ro-Ro non accompagnato	100	100	200

Tabella 14 – Costi di salita, discesa e trasbordo di default utilizzati per completare le impedenze di costo monetario di arco mancanti nel database dei servizi marittimi (valori in € per unità di trasporto intermodale nel caso di Ro-Ro e container e in € per tonnellata nel caso di bulk)

Le tariffe dei servizi marittimi, come accennato nel paragrafo 2.3.3.1, non sono additive con la distanza percorsa, poiché la tariffa unitaria c_0^s in €/nm per metro lineare²⁹ può presentare un andamento $c_{0ml}^s(d)$ decrescente con la distanza. Così come per i tempi, ci si è posti il problema di completare le informazioni mancanti nel database dei servizi marittimi sviluppato nel paragrafo 2.3.3.1.

In particolare, per i servizi di tipo Ro-Ro si è assunta la seguente relazione, calibrata su dati di tariffe desunti dalle principali compagnie di navigazione nel Mediterraneo (si veda il paragrafo 4.4):

$$c_{0ml}^s(d) = -0.024 \ln(d) + 0.2542 \quad [\text{€/nm/ml}] \quad (2.18)$$

che vale per $d > 200$ nm, mentre al di sotto di tale soglia è stata direttamente fissata una tariffa forfettaria corrispondente a 26.5 €/ml. La (2.18) è per completezza diagrammata nella seguente Figura 32.

corrispondente è quella del veicolo pesante.

²⁹ Le tariffe Ro-Ro sono in genere espresse in € per metro lineare di stiva occupata, per cui la tariffa effettivamente pagata da una certa tipologia di veicolo è data dal prodotto della tariffa a metro lineare per la lunghezza del veicolo. Va da sé, quindi, che il trasporto non accompagnato ha un costo di linea minore, in quanto viene imbarcato il solo trailer e non anche la motrice, mentre i costi portuali sono maggiori in quanto vi è l'onere di caricare/scaricare il trailer una volta giunto in porto (si vedano i valori in Tabella 14).

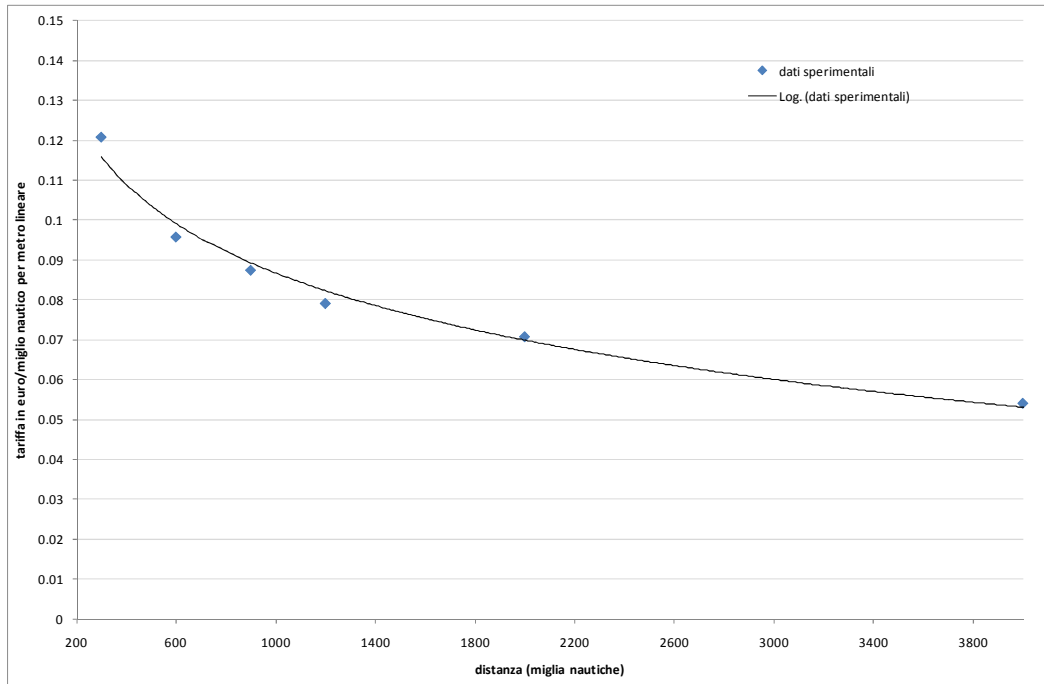


Figura 32 – Andamento grafico della funzione (2.18) utilizzata per il calcolo dei costi monetari dei servizi Ro-Ro

La tariffa complessiva a metro lineare c_{ml}^s [€/ml] si ottiene quindi moltiplicando la (2.18) per la distanza tra i due porti serviti ovvero applicando il valore forfettario se quest'ultima è inferiore a 200 nm, ed infine la tariffa complessiva c^s [€] si ottiene moltiplicando c_{ml}^s per la lunghezza del veicolo di tipologia considerata. Tale formulazione delle tariffe del servizio è evidentemente subadditiva ma, come spiegato nel paragrafo 2.3.3.1, può essere rappresentata direttamente a livello di arco se si adotta una rappresentazione a stella dei servizi marittimi.

Per i servizi di tipo bulk si è invece utilizzata la relazione semplificata per il calcolo della tariffa tra due porti a distanza d e una spedizione di peso pari a 30 t:

$$c(d) = 0.5d + 195 \quad (2.19)$$

Per quanto riguarda i servizi container, laddove disponibili si sono utilizzati riscontri diretti, mentre in assenza si è fatto riferimento alla funzione di Russo (2001) secondo cui il prezzo di trasporto via container tra due porti a distanza d in miglia nautiche è pari alla seguente relazione:

$$c(d) = 0.36d + 427.32 \quad [€] \quad (2.20)$$

Così come per il trasporto stradale, nel caso di servizi di tipo Ro-Ro o container bisogna considerare che una spedizione di peso w potrebbe richiedere più di una unità di trasporto

intermodale, per cui i valori restituiti dalla (2.18) e dalla (2.20) vanno moltiplicati per una quantità pari a $\text{int}(w/\bar{w}^{uti})+1$ dove \bar{w}^{uti} vale 24 tonnellate nel caso del Ro-Ro e vale 11 tonnellate/TEU nel caso di container. Nel caso del trasporto tradizionale non vi sono invece problemi perché la tariffa è già espressa in funzione del totale delle tonnellate trasportate e si assume che non vi siano vincoli di capacità. Tale ragionamento si applica ovviamente anche ai valori della già citata Tabella 14, che vanno quindi moltiplicati nel caso di trasporto intermodale per il numero di unità di trasporto intermodale caricate o scaricate.

L'ultima voce da prendere in considerazione riguarda la monetizzazione delle immobilizzazioni della merce e degli asset (veicoli, unità di trasporto intermodale) coinvolti nello spostamento. Così come fatto nel paragrafo 2.3.2.2 per il trasporto stradale, occorre prendere in considerazione tre diverse aliquote nel calcolo relativo alla connessione tra due porti i e j con il percorso k .

La prima è la monetizzazione del valore del tempo risparmiato per la merce, che si calcola utilizzando la (2.14) con la sola differenza di introdurre la tipologia di servizio marittimo s anziché la tipologia di veicolo stradale v :

$$c_{freight_k}^{m,s,w} = VTTS^m \cdot w \cdot t_k^s \quad [\text{€}] \quad (2.21)$$

nella quale w è il peso della spedizione e t_k^s il tempo di viaggio tra i due porti i e j con il percorso k utilizzando il servizio marittimo s . Per la determinazione di $VTTS^m$ vale quanto detto per il trasporto stradale, con valori di letteratura compresi tra 2.5 e 5 €/tonn per ora; inoltre, anche la (2.21) sarà moltiplicata per un fattore ψ che vale 1 quando si deve prendere in considerazione e 0 altrimenti.

La seconda si riferisce all'ammortamento dell'eventuale unità di trasporto intermodale utilizzata. Poiché il valore del noleggio medio giornaliero praticato per una unità di carico intermodale è pari a 1 \$/giorno per un container da 40 piedi e poco più per una cassa mobile, essa può di conseguenza essere ritenuta trascurabile così come fatto per il trasporto stradale. Diverso è il discorso per il Ro-Ro, dove si utilizza come unità di trasporto intermodale il veicolo stradale stesso, per il quale occorre calcolare l'aliquota di ammortamento con la relazione:

$$c_{amm_k}^{s,v} = amm^v \cdot t_k^s \quad [\text{€}] \quad (2.22)$$

A tal fine si utilizzano per il trasporto marittimo gli stessi valori riportati nel paragrafo 2.3.2.2, ovvero $amm^v = 15 \text{ €/h}$ per un veicolo pesante (somma dell'ammortamento del trattore, stimato in 11 €/h, e del trailer, stimato in 4 €/h), 9 €/h per un veicolo medio, 6 €/h per un veicolo leggero e 3 €/h per le autovetture.

La terza si riferisce al costo degli autisti, che si applica in realtà ai soli servizi di tipo Ro-Ro accompagnato, calcolato in analogia con la (2.12) moltiplicando il tempo totale di viaggio per un costo orario medio $driv_c$ funzione del Paese c e per il numero di autisti n_{driv} :

$$c_{driv_k}^s = n_{driv} \cdot driv_c \cdot t_k^s \quad [\text{€}] \quad (2.23)$$

Il valore di $driv_c$ è stato assunto pari a 20 €/h per i Paesi di categoria alta, 10 €/h per categoria media e 7 €/h per categoria bassa. Così come nel trasporto stradale, nella fase di codifica del modello è stata prevista la possibilità di scegliere se associare a ciascuno spostamento o-d il valore del costo autista all'origine, alla destinazione oppure (se diversi) una media dei due. Tener conto del costo autista nei servizi Ro-Ro accompagnati è fondamentale per una corretta modellazione del fenomeno, in particolare per quanto riguarda la scelta tra accompagnato e non accompagnato: questo punto sarà approfondito nella parte applicativa della ricerca (paragrafo 4.2.2.1). Va infine ricordato che anche i valori calcolati con le relazioni (2.22) e (2.23) vanno moltiplicati per una quantità pari a $\text{int}(w/\bar{w}^{uti}) + 1$ dove \bar{w}^{uti} vale 24 tonnellate e w è il peso complessivo della spedizione.

Sommando tra loro le relazioni (2.21), (2.22) e (2.23) si ottiene il valore complessivo della monetizzazione delle immobilizzazioni associate allo spostamento:

$$\begin{aligned} c_{freight_k}^{m,s,w} + \psi_{RoRo} \cdot \left[\text{int} \left(\frac{w}{\bar{w}^{uti}} \right) + 1 \right] \cdot (c_{amm_k}^{s,v} + c_{driv_k}^s) = \\ = \left\{ VTTS^m \cdot w + \psi_{RoRo} \cdot \left[\text{int} \left(\frac{w}{\bar{w}^{uti}} \right) + 1 \right] \cdot (amm^v + n_{driv} \cdot driv_c) \right\} \cdot t_k^s \end{aligned} \quad [\text{€}] \quad (2.24)$$

dove ψ_{RoRo} vale 1 nel caso di trasporto Ro-Ro e zero altrimenti. Rispetto al trasporto stradale, poiché non vi sono aliquote di tempo non additive e poiché le tariffe non additive sono trattate come additive modificando opportunamente il modello topologico di offerta (paragrafo 2.3.3.1), tutte le impedenze sono additive ed è quindi immediato utilizzare gli algoritmi di minimo percorso standard disponibili in letteratura. Ovviamente, si ripropone la decisione di

scegliere rispetto a quale attributo di impedenza di arco calcolare il minimo percorso: in tal senso si può scegliere tra tempo di viaggio, costo monetario di viaggio e costo generalizzato di trasporto; tale opzione è esplicitamente consentita nella implementazione software del modello di offerta.

2.3.4 Modello di offerta ferroviario

2.3.4.1 Modello topologico

Così come per il modello topologico di offerta stradale (paragrafo 2.3.2.1), anche il modello topologico di offerta ferroviario è stato costruito a partire da un grafo di partenza a disposizione del Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti, opportunamente integrato e aggiornato utilizzando altri grafi grezzi disponibili grazie a progetti GIS open source che, sul web, forniscono shapefiles della rete ferroviaria di numerosi Paesi a livello mondiale.

Coerentemente con il livello di zonizzazione adottato (paragrafo 2.3.1), sono state estratte tutte le infrastrutture ferroviarie rilevanti per la connessione tra le zone dell'area di studio e da/verso l'ambiente esterno. Complessivamente, sono stati presi in considerazione 406.975 chilometri di rete ferroviaria, rappresentati attraverso 90.259 archi bidirezionali e 83.462 nodi. Ad essi sono poi stati aggiunti i connettori di zona, nel caso vi fossero situazioni di connessione diretta alla rete ferroviaria senza passare per una tratta di terminalizzazione stradale. Un esempio del livello di dettaglio della rete ferroviaria estratta è riportato per completezza nella seguente Figura 33.



Figura 33 – Grafo di offerta ferroviario: dettaglio relativo alla zona della Francia

Una volta disegnato il grafo ferroviario di base, si sono raccolte e/o calcolate per ciascun arco tutte le caratteristiche topologiche e funzionali necessarie per la successiva implementazione del modello analitico (paragrafo 2.3.4.2). In primo luogo, sono state identificate tre tipologie di archi ferroviari: alta velocità, ordinari, connettori. A ciascun arco sono poi stati associati i seguenti dati³⁰: lunghezza (km), numero di binari, scartamento (con le seguenti classi in millimetri: 1668, 1600, 1524, 1435, 1000, inferiore a 1000), sistema di alimentazione (elettrificato/non elettrificato), abilitazione al trasporto merci³¹ (booleano).

Una classificazione analoga è stata condotta per i terminali ferroviari. In particolare, ne sono stati identificati 5.449 nell'area di studio, di cui 321 con diretta connessione con porti e 257 con la rete di navigazione interna. Ai fini dell'implementazione del modello analitico, sono poi stati identificati 200 terminali “di interesse internazionale”, mentre i rimanenti sono stati classificati di interesse nazionale.

Poiché il trasporto ferroviario è discontinuo nel tempo e nello spazio, in accordo con

³⁰ Tali informazioni sono state in parte reperite su: <http://www.bueker.net/trainspotting/maps.php>.

³¹ Si è fatto riferimento al progetto di censimento DIUM da parte della UIC (unione internazionale delle ferrovie) disponibile all'indirizzo web <http://www.uic.org/dium>.

quanto riportato nel paragrafo 2.2.1 una volta costruito il grafo delle infrastrutture occorre implementare un modello topologico con approccio sincronico (a linea) o diacronico (a corsa), a seconda della frequenza e della regolarità della tipologia di servizio. A tal proposito, a differenza del trasporto marittimo (paragrafo 2.3.3.1) non vi è disponibilità di un database dettagliato ed affidabile dei servizi di trasporto ferroviario merci in ambito nazionale ed europeo³², e ciò impedisce di sviluppare un modello sincronico o diacronico affidabile e rispondente alla reale offerta di trasporto ferroviario.

Si è allora proceduto con un approccio semplificato, individuando innanzitutto tre tipologie di servizi ferroviari: tradizionale, combinato con casse mobili o container, combinato con semirimorchi (autostrada viaggiante). Per ciascuna tipologia di servizio è stata poi definita una rete di servizi che, in maniera più o meno realistica, ne riproduce l'effettiva disponibilità:

- per i servizi tradizionali, tutti i terminali ferroviari sono connessi tra loro;
- per i servizi combinati di tutti i tipi si è assunta una rete tipo hub and spoke, con i terminali di interesse internazionale tutti connessi tra loro, e ciascun terminale di interesse internazionale connesso con tutti i terminali appartenenti al suo bacino. In particolare, a ciascun terminale è associato il terminale di interesse internazionale più vicino sulla rete ferroviaria;
- per i terminali che offrono servizi container in connessione con i porti è stata abilitata la sola possibilità di trasporto combinato con container (e non con casse mobili o semirimorchi).

In termini di frequenza, in assenza di dati dettagliati, si è assunto un valore giornaliero per i servizi combinati tra i terminali internazionali e da/verso i porti principali, trisettimanale per i servizi combinati di feederaggio, e settimanale per i servizi tradizionali. Tale procedura è stata in particolare sviluppata separatamente per ciascuno scartamento ferroviario, creando quindi dei “sotto-database” di servizi.

A questo punto, si è proceduto esattamente come nel caso del trasporto marittimo, implementando quindi un modello di offerta sincronico; in questo caso non si è adottata una

³² In particolare, RFI in Italia pubblica un *Catalogo Merci* che contiene tutte le tracce merci *disponibili* per l'effettuazione di servizi di trasporto ferroviario; alla data di predisposizione del modello di offerta era disponibile all'indirizzo web <http://catalogomerci.rfi.it/catalogomercirfi>. Va però detto che le tracce *effettive* utilizzate corrispondono a circa il 50% del totale e non è possibile ricostruirle con dettaglio. A livello europeo, invece, vi è un tentativo di unificazione dei servizi di tipo intermodale attraverso il portale <https://www.cesar-online.com> che però contiene informazioni molto parziali e non sempre aggiornate.

segmentazione in classi di frequenza avendo assunto che al più la connessione avviene con servizi settimanali. Inoltre, poiché anche in questo caso l'impedenza associata al trasbordo è in generale diversa da quella associata agli archi di primo accesso o ultimo egresso, si è adottata una modellazione a nodi duplicati del tipo riportato in Figura 30.

Un'ultima considerazione si riferisce alla problematica di rappresentare correttamente la connessione tra le reti con scartamento e sistema di elettrificazione diverso. A tal fine, i nodi in corrispondenza dei cambi di scartamento e di elettrificazione sono stati esplosi aggiungendo un arco di trasferimento, a cui associare opportune impedenze nel modello analitico, come si dirà tra breve.

2.3.4.2 Modello analitico

Per quanto riguarda l'implementazione del modello analitico di offerta ferroviario, il calcolo del tempo complessivo di spostamento ferroviario è stato effettuato tenendo conto del tempo di viaggio effettivo sulla rete dei servizi ferroviari e dei tempi di attesa per le operazioni di terminalizzazione e di consegna/ritiro della merce (servizio tradizionale) o dell'unità di trasporto intermodale (servizi combinati). Si tratta dunque di tempi relativi ad uno spostamento tra due terminali ferroviari di origine e destinazione, rispettivamente da quando la merce/unità di trasporto viene consegnata a quando viene resa nuovamente disponibile. Gli spostamenti con altri modi a monte e a valle del terminal, inclusi i tempi di accesso/egresso ai/dai nodi terminal dai/ai centroidi di zona origine/destinazione su rete stradale (cioè le terminalizzazioni stradali in origine e in destinazione), sono stati invece considerati nell'ambito della costruzione del modello multimodale (paragrafo 2.3.6).

Per calcolare i tempi sulla rete dei servizi ferroviari è stata innanzitutto definita una velocità commerciale di arco vc_l^s per ciascuna tipologia di servizio ferroviario s sull'arco l , dipendente da tipologia di arco, categoria di Paese di appartenenza dell'arco, numero di binari e sistema di alimentazione, riportata nella seguente Tabella 15. Va sottolineato a tal proposito che la velocità commerciale tiene conto anche delle soste in linea e di tutto quanto concorre in generale a determinare il tempo effettivo di viaggio tra due terminali; inoltre, bisogna ricordare che non tutti gli archi sono comunque abilitati al servizio merci, e di ciò si tiene ovviamente conto nel calcolo dei minimi percorsi.

tipo di arco	categoria di Paese	numero binari	elettrificazione	velocità commerciale [km/h]	
				tradizionale	combinato
alta velocità	1	1	si	32.5	65
	2	1	si	27.5	55
	3	1	si	22.5	45
	1	2	si	35	70
	2	2	si	30	60
	3	2	si	25	50
ordinario	1	1	no	22.5	45
	2	1	no	20	30
	3	1	no	20	30
	1	2	no	27.5	55
	2	2	no	22.5	45
	3	2	no	20	35
	1	1	si	32.5	65
	2	1	si	27.5	55
	3	1	si	22.5	45
	1	2	si	35	70
	2	2	si	30	60
	3	2	si	25	50
connettore	1	-	-	30	50
	2	-	-	30	50
	3	-	-	30	50

Tabella 15 – Velocità commerciali in km/h per tipologia di arco, tipologia di servizio ferroviario, categoria di Paese, numero di binari, sistema di alimentazione

Inoltre, sulla base dei riscontri dello stato dell'arte riportato nel paragrafo 2.2.2, è stato desunto un tempo medio di trasferimento ttr_h^s tra servizi ferroviari di tipo s nel terminal h e di attesa tw_h^s per le operazioni di terminalizzazione per servizi ferroviari di tipo s nel terminal h , differenziato per categoria di Paese di appartenenza del terminal secondo i valori riportati nella seguente Tabella 16, ipotizzati indipendenti dal numero di unità intermodali (o di tonnellate) trattate.

tipo di terminal	categoria di Paese	tempo di trasferimento [h]		tempo di terminalizzazione [h]	
		tradizionale	combinato	tradizionale	combinato
internazionale	1	48	8	48	10
	2	72	12	72	15
	3	96	24	96	29
nazionale	1	72	16	72	20
	2	108	24	108	29
	3	144	48	144	58

Tabella 16 – Tempi di trasferimento tra servizi e di terminalizzazione in ore per tipologia di terminal, tipologia di servizio ferroviario, categoria di Paese

Infine, occorre considerare che vi sono nel modello topologico archi l_c rappresentativi di cambi di scartamento e di sistema di elettrificazione: ai primi è stato associato un tempo di cambio $tc_{l_c}^s$ pari a 96 ore per servizi tradizionali e 36 ore per servizi combinati, corrispondenti alla necessità di effettuare un cambio di treno per la merce trasportata, mentre ai secondi un

tempo di cambio tc_{l_c} pari a 4 ore indipendentemente dal tipo di servizio ferroviario.

A partire dunque dalla velocità commerciale, dai tempi di attesa e dai tempi di cambio è quindi possibile determinare il tempo di viaggio complessivo t_k^s per il percorso ferroviario k e per il servizio di tipologia s :

$$t_k^s = \sum_{l \in k} \frac{L_l}{vC_l^s} + \sum_{h \in tr(k)} ttr_h^s + \sum_{c \in tc(k)} tc_{l_c}^s + tw_{h_o(k)}^s + tw_{h_d(k)}^s \quad [\text{h}] \quad (2.25)$$

nella quale L_l è la lunghezza in km dell'arco l , $tr(k)$ l'insieme degli eventuali terminali intermedi di trasferimento del percorso k , $tc(k)$ l'insieme degli eventuali archi di cambio di scartamento e/o di elettrificazione, e $h_o(k)$ e $h_d(k)$ i terminali di origine e di destinazione del percorso k . Rispetto al caso stradale, dunque, non vi sono componenti non additive e dunque il calcolo del percorso di minimo tempo è di immediata realizzazione.

Per quanto riguarda il calcolo dei costi e dei prezzi di ciascuna tipologia di servizio, si è tenuto innanzitutto conto del fatto che il conto proprio ferroviario è estremamente raro e dunque non è stato preso in considerazione. Limitandosi dunque al conto terzi, si è proceduto direttamente calcolando la tariffa media c_k^s per il servizio di tipologia s sul percorso k . La scelta di procedere al calcolo di una tariffa di percorso e non di arco è legata alla politica tariffaria normalmente praticata dalle compagnie ferroviarie, che applicano una tariffa ad €/km con andamento decrescente con la distanza da percorrere. A tal proposito, da analisi effettuate a livello di alcuni Paesi per i quali si disponeva di dati, è risultata migliore dal punto di vista statistico la seguente tariffazione per il servizio di trasporto combinato di un container da 40 piedi pieno con riferimento a Paesi di categoria alta:

$$c_0^s(L_k) = \begin{cases} 1.4 & \text{se } L_k < 900 \text{ km} \\ -0.599 \ln(L_k) + 5.4874 & \text{se } 900 \text{ km} < L_k < 2000 \text{ km} \\ 40.329 \cdot L_k^{-0.493} & \text{se } 2000 \text{ km} < L_k < 5000 \text{ km} \\ 11.98 \cdot L_k^{-0.344} & \text{se } 5000 \text{ km} < L_k < 8000 \text{ km} \\ 0.5 & \text{se } L_k > 8000 \text{ km} \end{cases} \quad [\text{€/km}] \quad (2.26)$$

dove c_0^s indica la tariffa chilometrica espressa in €/km. Per completezza, l'andamento della (2.26) con la distanza è graficamente rappresentato nella seguente Figura 34.

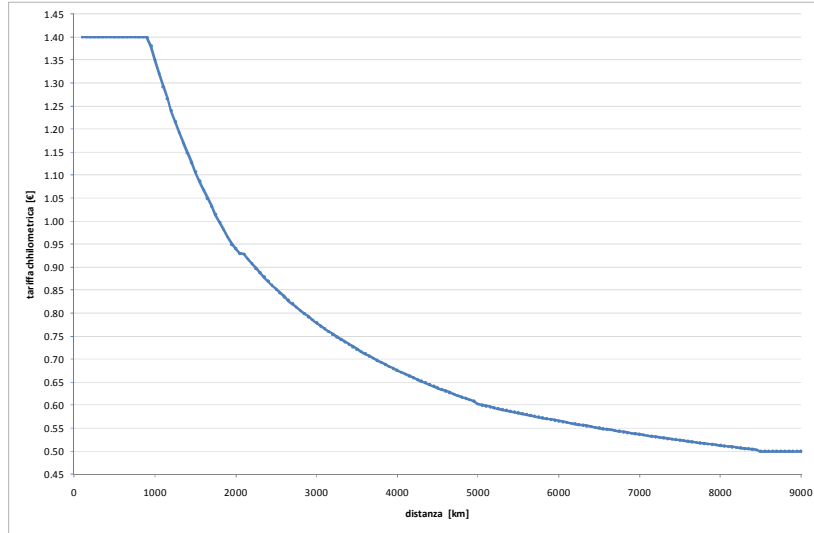


Figura 34 – Andamento della tariffa con la distanza per servizi di trasporto combinato (container pieno da 40') in Paesi di categoria alta, equazione (2.25)

Il valore di c_0^s desunto dalla (2.26) è stato ipotizzato uguale anche per il servizio di trasporto ferroviario di casse mobili e semirimorchi, mentre per i servizi ferroviari di tipo tradizionale, in assenza di dati aggiornati e affidabili, è stato adottato il valore di $c_0^s = 1.461$ €/km suggerito da Russo (2001).

Per quanto riguarda i costi della terminalizzazione nei terminali di origine e di destinazione del percorso k , indicati rispettivamente con $c_{h_o(k)}^s$ e $c_{h_d(k)}^s$, sempre per Paesi di categoria alta si è assunto il valore di 95 €/terminal per il combinato indipendentemente dal tipo di unità di trasporto intermodale, mentre per il tradizionale si è fatto riferimento al valore di 9 €/tonnellata/terminal suggerito da Russo (2001).

Infine, i costi $c_{l_c}^{s,w}$ connessi al cambio di scartamento nell'arco l_c sono stati anch'essi assunti pari a 95 €/cambio per il combinato e a 50 €/tonnellata per il tradizionale, mentre per il cambio di elettrificazione si è assunto un costo di 50 €/cambio indipendentemente dal tipo di servizio ferroviario.

Complessivamente, dunque, il costo monetario c_k^s per il trasporto combinato di tipo s di una singola unità di trasporto intermodale sul percorso k vale:

$$c_k^s = c_0^s \cdot \left(\sum_{l \in k} L_l \right) + \sum_{l_c \in k} c_{l_c}^s + c_{h_o(k)}^s + c_{h_d(k)}^s = c_0^s(L_k) \cdot L_k + \sum_{l_c \in k} c_{l_c}^s + 190 \quad [\text{€}] \quad (2.27)$$

nella quale si è ribadita la dipendenza di c_0^s dalla lunghezza del percorso L_k e si è sostituito il costo adottato per la terminalizzazione. Così come per il trasporto stradale e marittimo, anche per il ferroviario occorre considerare il peso della spedizione trasportata w e confrontarlo, nel caso di trasporto intermodale, con la capacità media in peso \bar{w}^{uti} della generica unità di trasporto intermodale (assunto pari a 24 tonnellate per semirimorchi, 11 tonnellate per TEU per container, e 24 per casse mobili di tipo C³³). Nella pratica, quindi, la (2.27) va moltiplicata per $\text{int}(w/\bar{w}^{uti})+1$ al fine di ottenere il costo complessivo della spedizione.

Analogamente, il costo monetario $c_k^{s,w}$ per il servizio tradizionale di una quantità in peso pari a w è dato da:

$$c_k^{s,w} = c_0^s \cdot \left(\sum_{l \in k} L_l \right) + \sum_{l_c \in k} c_{l_c}^{s,w} + c_{h_o(k)}^{s,w} + c_{h_d(k)}^{s,w} = 1.416 \cdot L_k + \sum_{l_c \in k} c_{l_c}^{s,w} + 18 \cdot w \quad [\text{€}] \quad (2.28)$$

dove i simboli hanno il significato già introdotto in precedenza. Poiché la (2.28) è già parametrizzata rispetto al peso della spedizione, non occorre utilizzare ulteriori coefficienti aggiuntivi. A partire dai costi di percorso calcolati con la (2.27) e con la (2.28) si applicano infine i coefficienti riduttivi riportati nella seguente Tabella 17, per tener conto della diversa incidenza delle categorie dei Paesi di origine e di destinazione.

categoria Paese origine	categoria Paese destinazione		
	alta	media	bassa
alta	1	0.97	0.95
media	0.98	0.95	0.92
bassa	0.96	0.92	0.85

Tabella 17 – Coefficienti di riduzione dei costi unitari di trasporto ferroviario in funzione della categoria di Paese di origine e di destinazione

Una volta calcolato il costo monetario resta da definire il costo generalizzato di trasporto che, come visto per il modello analitico stradale e marittimo, comprende tre aliquote. In particolare, la monetizzazione del valore del tempo risparmiato per la merce si calcola esattamente come la (2.21) utilizzata per il trasporto marittimo. L'ammortamento dell'eventuale unità di trasporto intermodale utilizzata è invece trascurato, poiché il valore del noleggio medio giornaliero praticato per una unità di carico intermodale è pari a 1 \$/giorno per un container da 40 piedi e poco più per una cassa mobile. Infine, il costo degli autisti si

³³ Non si è ritenuto di dover disaggregare per tipo di cassa mobile, perché troppo di dettaglio rispetto agli obiettivi del lavoro di ricerca.

applica ai soli servizi di autostrada viaggiante accompagnata, limitati a pochissime tratte nell'area di studio del modello³⁴, e viene trattato utilizzando la (2.23) già introdotta per il trasporto marittimo.

In definitiva, il costo generalizzato di trasporto di una spedizione di peso w sul percorso k è dato dalla seguente relazione per servizi di tipo combinato, ottenuta a partire dalle (2.27), (2.29) e (2.25):

$$\begin{aligned}
 cg_k^{m,s,w} &= c_k^s + c_{freight_k}^{m,s,w} = \\
 &= \left[\text{int} \left(\frac{w}{w^{uti}} \right) + 1 \right] \cdot \left(c_0^s(L_k) \cdot L_k + \sum_{l_c \in k} c_{l_c}^s + 190 \right) + \Psi \cdot VTTS^m \cdot w \cdot t_k^s = \\
 &\left[\text{int} \left(\frac{w}{w^{uti}} \right) + 1 \right] \cdot \left\{ c_0^s(L_k) \cdot \left(\sum_{l \in k} L_l \right) + \sum_{l_c \in k} c_{l_c}^s + 190 \right\} + \\
 &+ \Psi \cdot VTTS^m \cdot w \cdot \left(\sum_{l \in k} \frac{L_l}{vc_l^s} + \sum_{h \in tr(k)} ttr_h^s + tw_{h_o(k)}^s + tw_{h_d(k)}^s \right) \quad [\text{€}] \quad (2.30)
 \end{aligned}$$

e dalla seguente relazione per servizi di tipo tradizionale, ottenuta a partire dalle (2.28), (2.29) e (2.25):

$$\begin{aligned}
 cg_k^{m,s,w} &= c_k^{s,w} + c_{freight_k}^{m,s,w} = 1.416 \cdot L_k + \sum_{l_c \in k} c_{l_c}^{s,w} + 18 \cdot w + \Psi \cdot VTTS^m \cdot w \cdot t_k^s = \\
 &1.416 \cdot \left(\sum_{l \in k} L_l \right) + \sum_{l_c \in k} c_{l_c}^{s,w} + 18 \cdot w + \Psi \cdot VTTS^m \cdot w \cdot \left(\sum_{l \in k} \frac{L_l}{vc_l^s} + \sum_{h \in tr(k)} ttr_h^s + tw_{h_o(k)}^s + tw_{h_d(k)}^s \right) \quad [\text{€}] \quad (2.31)
 \end{aligned}$$

Per quanto riguarda il calcolo dei minimi percorsi, si assume innanzitutto come ipotesi che venga sempre seguito dai vettori ferroviari il percorso di tempo di viaggio minimo. Coerentemente, si procede col minimizzare la (2.25) attraverso un algoritmo standard di minimo percorso³⁵, si calcola quindi la lunghezza del percorso di minimo costo e, sulla base di quest'ultima, i costi monetari e infine i costi generalizzati di trasporto. Per il resto valgono le considerazioni già svolte a proposito del trasporto marittimo.

³⁴ I casi più notevoli riguardano l'attraversamento delle Alpi.

³⁵ Come si vedrà infatti nel paragrafo 2.3.6, è immediato associare le impedenze temporali di nodo ad opportuni archi fittizi del modello topologico di offerta.

2.3.5 Modello di offerta per la navigazione interna

2.3.5.1 Modello topologico

Così come per la strada e la ferrovia, anche il modello topologico per le vie di navigazione interna, naturali ed artificiali, è stato derivato a partire da un grafo grezzo di base a disposizione del Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti. Complessivamente, esso comprende 1041 archi e 966 nodi, dei quali 364 corrispondono a porti fluviali e/o a banchine di carico/scarico in connessione con le altre modalità di trasporto. Una rappresentazione del livello di dettaglio del modello è riportata nella seguente Figura 35, che si riferisce all'area dei Paesi Bassi.

A ciascun arco del grafo sono state poi associate le caratteristiche fisico-funzionali rilevanti per la successiva implementazione del modello analitico, e in particolare: lunghezza, tipologia di via navigabile (naturale o artificiale), classificazione in accordo con le normative UE. Purtroppo, non è stato possibile con le fonti dati a disposizione risalire all'informazione sul verso di avanzamento della corrente nei canali artificiali, che pure incide in maniera notevole sulle prestazioni dei servizi di trasporto attraverso vie navigabili interne.



Figura 35 – Dettaglio del modello topologico per le vie di navigazione interna (zona dei Paesi Bassi)

Anche per le vie di navigazione interna non è disponibile un database di servizi a livello internazionale consolidato ed affidabile e, a differenza del trasporto ferroviario, non è semplicemente definibile una gerarchia tra i terminali della rete tale da permettere la creazione di un database di servizi fittizi proxy di quelli veri. Per questo motivo si è adottato un approccio di tipo sincronico senza rappresentare le linee, dunque come se si trattasse di un modo ad accesso continuo nel tempo e nello spazio: tale approssimazione è pienamente compatibile con gli obiettivi della presente ricerca. Ovviamente, rispetto al trasporto stradale, l'unica differenza nel grafo è la presenza esplicita di archi di salita/discesa nei terminali così da associarvi i rispettivi tempi di terminalizzazione in origine e in destinazione.

Sono state infine prese in considerazione due tipologie di servizi di trasporto, rispettivamente tradizionale e combinato; per quest'ultimo si è assunto il container come unica unità di trasporto intermodale ammissibile.

2.3.5.2 Modello analitico

Il modello analitico per le vie di navigazione interna permette innanzitutto il calcolo dei tempi di spostamento tra due nodi/terminali del grafo. A tal fine, per gli archi l per i quali si dispone di informazioni sul verso di scorrimento della corrente si è assunta una velocità di percorrenza vc_l pari a 6 nodi in direzione della corrente e a 2 nodi in direzione opposta, mentre laddove tale informazione risultava mancante si è assunta una velocità di percorrenza di 4 nodi; tali valori sono definiti indipendentemente dal tipo di servizio (tradizionale o combinato). Il calcolo del tempo di percorrenza t_{ij} per collegare due terminali fluviali i e j è ottenuto banalmente dividendo per tali velocità la distanza in miglia nautiche tra i e j . Occorre poi considerare i tempi di attesa tw_h^s per il carico/scarico nel terminale h e per la tipologia di servizio s , fissati per analogia col trasporto ferroviario in funzione della categoria di Paese, come riportato nella seguente Tabella 18.

categoria di Paese	tempo di terminalizzazione [h]	
	tradizionale	combinato
1	48	8
2	72	12
3	96	24

Tabella 18 – Tempi di terminalizzazione in ore per terminal fluviali in funzione della tipologia di servizio e della categoria di Paese

Il tempo complessivo tra i due terminali fluviali i e j collegati con il percorso k è dato quindi dalla relazione:

$$t_k^s = \sum_{l \in k} \frac{L_l}{v c_l} + t w_i^s + t w_j^s \quad [\text{h}] \quad (2.32)$$

nella quale L_l è la lunghezza dell'arco l . I tempi definiti dalla (2.32) sono evidentemente additivi.

Per quanto attiene ai costi, si è dovuto anche qui fare i conti con la scarsità di dati a disposizione, decidendo quindi di assumere un costo chilometrico $c_0^s(L_k)$, funzione del tipo di servizio e decrescente con la distanza percorsa L_k , derivato da quello ferroviario con una riduzione del 25%. Di conseguenza, per il trasporto combinato si è ottenuta, a partire dalla (2.26), la seguente funzione di costo:

$$c_0^s(L_k) = \begin{cases} 1.05 & \text{se } L_k < 900 \text{ km} \\ -0.449 \ln(L_k) + 4.1155 & \text{se } L_k > 900 \text{ km} \end{cases} \quad [\text{€/km}] \quad (2.33)$$

mentre per il tradizionale si è assunto il valore costante con la distanza pari a $c_0^s = 1.1 \text{ €/km}$. Il costo complessivo per un dato percorso si ottiene dunque moltiplicandone la lunghezza per il corrispondente valore di costo unitario, e si è assunto un valore soglia minimo di 350 €.

I costi ai terminali sono stati assunti anch'essi uguali a quelli del trasporto ferroviario, quindi pari a 95€ per la terminalizzazione di una unità di trasporto intermodale e a 50 €/tonnellata per il servizio tradizionale.

Infine, per quanto riguarda il calcolo dei costi generalizzati di trasporto, l'unica aliquota da prendere in considerazione riguarda l'immobilizzazione della merce, attraverso la monetizzazione del valore del tempo di viaggio con la relazione analoga alla (2.21) introdotta per il trasporto marittimo. Infatti, si trascura ancora una volta l'immobilizzazione del valore dell'unità di trasporto intermodale e non va considerata l'immobilizzazione del mezzo perché non è prevista l'opzione di tipo Ro-Ro³⁶.

Così come per le altre modalità di trasporto, poi, si deve tener conto del peso della spedizione trasportata w confrontandolo con la capacità media in peso della generica unità di trasporto intermodale (i valori di \bar{w}^{uti} adottati coincidono con quelli per il trasporto ferroviario riportati nel paragrafo 2.3.4.2). Nella pratica, quindi, i costi di trasporto per via

³⁶ In realtà essa è presente in alcuni casi nell'area di studio, ad esempio nell'attraversamento del Danubio lungo il confine tra Romania e Bulgaria. Tali casi particolari sono però modellati per semplicità come archi stradali con opportune impedenze.

fluviale di una singola unità di trasporto intermodale vanno moltiplicati per $\text{int}\left(w/\overline{w}^{uti}\right)+1$ al fine di ottenere il costo complessivo della spedizione.

La gestione dei minimi percorsi, tenendo conto che gli operatori del trasporto intermodale fluviale ragionano sempre in termini di percorso di tempo minimo, è effettuata calcolando prima il percorso di tempo minimo e successivamente calcolandone costo monetario e costo generalizzato di trasporto.

2.3.6 Integrazione dei modelli monomodali

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti i quattro modelli di offerta monomodali sviluppati per il trasporto merci stradale, ferroviario, marittimo e di navigazione interna: il presente paragrafo descrive la loro integrazione in un unico modello di offerta multimodale.

In primo luogo, come si è visto finora, in ciascun modo vi sono numerose variabili che incidono sulla costruzione del modello topologico e del modello analitico, ad esempio la tipologia di veicolo, la categoria merceologica, il titolo di trasporto (conto proprio o conto terzi), l'unità di trasporto intermodale eventualmente utilizzata, il tipo di servizio utilizzato (ad es. Ro-Ro accompagnato o non accompagnato per il trasporto marittimo), e così via. Per poter fornire una rappresentazione snella del fenomeno e permettere quindi una implementazione agevole ed operativa del modello di offerta, così da supportare efficacemente la parte applicativa della ricerca, si è introdotto il concetto di *segmento di offerta monomodale*, inteso come un insieme di realizzazione delle variabili che definiscono compiutamente le caratteristiche di offerta di quel dato segmento per quel modo. In particolare, per la modalità stradale le variabili di segmentazione sono le seguenti:

- tipologia di veicolo (autovettura; veicolo commerciale leggero, medio, pesante);
- tipologia di unità di trasporto intermodale (container, cassa mobile, semirimorchio), applicabili solo se la tipologia di veicolo è commerciale pesante;
- titolo di trasporto (conto proprio, conto terzi);
- numero di autisti (uno, due);
- categoria merceologica trasportata, e indicazione se il relativo VTTS deve essere monetizzato nel calcolo dei costi generalizzati di trasporto;

- peso della spedizione.

Per la modalità marittima occorre invece considerare le seguenti variabili:

- tipologia di servizio marittimo (bulk, Ro-Ro, container)
- tipologia di unità di trasporto intermodale (container, cassa mobile, semirimorchio), applicabile solo per le tipologie di servizio marittimo rilevanti;
- modalità di trasporto Ro-Ro (accompagnato, non accompagnato), applicabile solo per servizi di tipo Ro-Ro e per unità di trasporto intermodale semirimorchio;
- titolo di trasporto (conto proprio, conto terzi), che entra in gioco solo nel Ro-Ro con unità di trasporto intermodale semirimorchio per la monetizzazione degli ammortamenti durante il tempo di viaggio;
- numero di autisti (uno, due), applicabile solo per modalità di trasporto Ro-Ro accompagnato;
- categoria merceologica trasportata, e indicazione se il relativo VTTS deve essere monetizzato nel calcolo dei costi generalizzati di trasporto;
- classe di frequenza della spedizione;
- peso della spedizione.

Per la modalità ferroviaria occorre invece considerare:

- tipologia di servizio ferroviario (tradizionale, combinato);
- tipologia di unità di trasporto intermodale (container, cassa mobile, semirimorchio), applicabile solo per la tipologia di servizio ferroviario combinato;
- modalità di trasporto Ro-Ro (accompagnato, non accompagnato), applicabile solo per servizi di tipo combinato e per unità di trasporto intermodale semirimorchio;
- titolo di trasporto (conto proprio, conto terzi), che entra in gioco solo nel combinato con unità di trasporto intermodale semirimorchio per la monetizzazione degli ammortamenti durante il tempo di viaggio;
- numero di autisti (uno, due), applicabile solo per modalità di trasporto combinato

accompagnato;

- categoria merceologica trasportata, e indicazione se il relativo VTTS deve essere monetizzato nel calcolo dei costi generalizzati di trasporto;
- peso della spedizione.

Per la modalità relativa alle vie di navigazione interna vanno infine considerati:

- tipologia di servizio di navigazione interna (tradizionale, combinato);
- tipologia di unità di trasporto intermodale (container, cassa mobile), non è prevista la modalità intermodale con semirimorchio;
- categoria merceologica trasportata, e indicazione se il relativo VTTS deve essere monetizzato nel calcolo dei costi generalizzati di trasporto;
- peso della spedizione.

A ciascun segmento, definito come detto da una combinazione delle precedenti caratteristiche, è quindi possibile associare un corrispondente modello topologico ed analitico di offerta in accordo con quanto descritto nei paragrafi precedenti, e dunque calcolare tra l'altro i minimi percorsi di data impedenza per ogni coppia di nodi.

Ciò premesso, il tema della modellazione di un sistema di offerta di trasporto multimodale, in cui cioè per definizione sono disponibili più alternative modali in serie e/o in parallelo per un dato spostamento o-d, è una delle problematiche di maggior rilievo nella letteratura scientifica di settore³⁷. In accordo con l'impostazione della ricerca, l'implementazione di un modello di offerta multimodale richiede innanzitutto la definizione di un *segmento di offerta multimodale*, caratterizzato da un dato insieme di modi di trasporto e definito accoppiando tra loro i corrispondenti segmenti di offerta monomodale, in modo che siano rispettati vincoli di omogeneità tra le variabili di segmentazione. Ad esempio, un segmento di offerta multimodale può riguardare il trasporto conto terzi di container di merce generale attraverso i modi stradale, ferroviario e marittimo: esso sarà definito a partire da segmenti di offerta monomodale che utilizzino veicoli commerciali pesanti (per la strada) e servizi di trasporto combinato (per il mare e per il ferro), il container come unità di trasporto intermodale e tali che il VTTS sia omogeneamente definito tra i diversi segmenti monomodali.

³⁷ Si veda ad es. Cascetta (2009) e Montella (1996).

Intuitivamente, si è portati a pensare che il modello topologico del segmento di offerta multimodale in questione si ottenga connettendo opportunamente i modelli topologici di offerta di ciascun segmento monomodale costituente: in particolare, tale connessione è effettuata operativamente attraverso opportuni archi di trasferimento modale tra i nodi dei modelli di offerta di ciascun segmento etichettati come terminali ed abilitati al trasferimento su uno o più degli altri modi del segmento multimodale. In realtà ciò vale solo se tutti i modelli monomodali utilizzati sono caratterizzati da impedenze additive, il che ad esempio non è vero per il trasporto stradale, come si è visto nel paragrafo 2.3.2: ciò potrebbe portare a distorsioni nel calcolo dei minimi percorsi. Ad esempio, si consideri la situazione di Figura 36, che schematizza in maniera semplificata una rete bimodale strada-mare che collega una coppia o-d, relativamente ad un servizio di tipo Ro-Ro accompagnato con un solo autista: per semplicità sono riportati solo i tempi di viaggio in ore e si assume che non vi siano impedenze nei nodi; è inoltre possibile passare da un modo all'altro in tutti i porti. I tempi sono stati scelti rappresentando la situazione realistica di maggior velocità del trasporto stradale rispetto al mare su tratte simili.

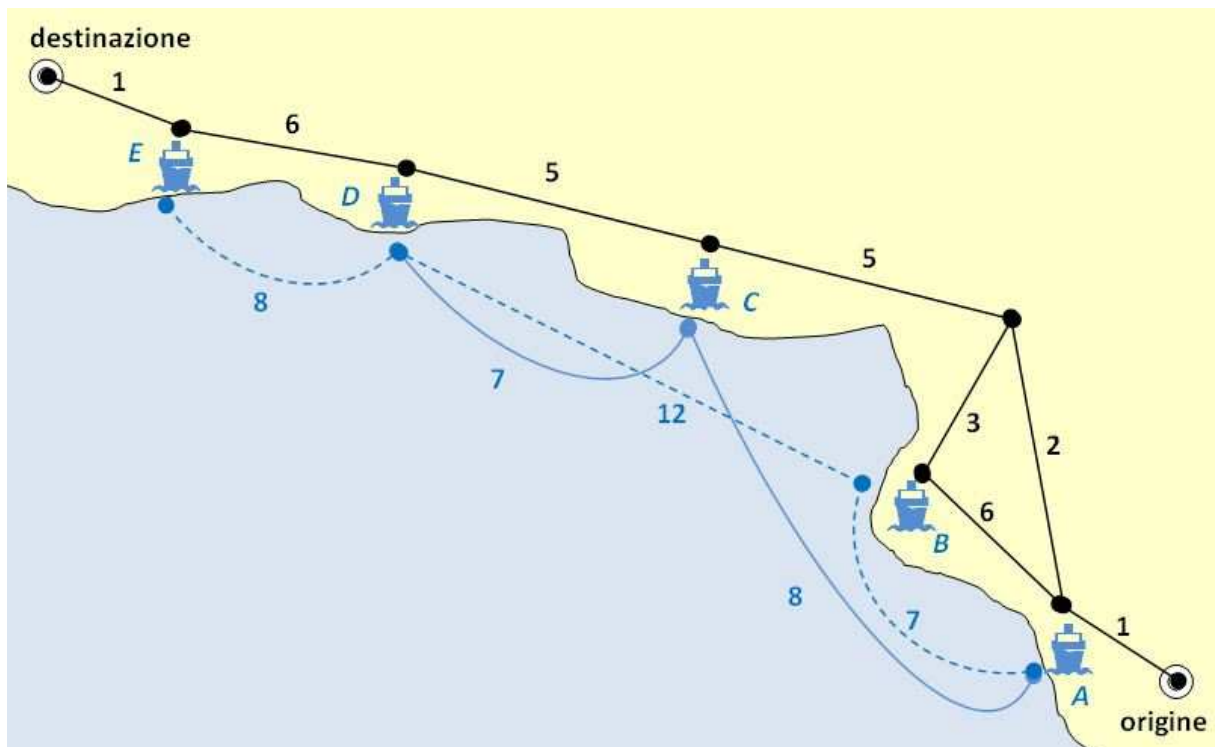


Figura 36 – Problemi nel calcolo dei minimi percorsi multimodali con impedenze monomodali non additive

Senza tener conto dei tempi di sosta e di fermata, il percorso di minimo tempo sulla rete di Figura 36 è quello tutto strada con un tempo di percorrenza netto di 20 ore; se si forzasse il minimo percorso ad utilizzare il mare (a tal proposito si veda la discussione tra breve) il

percorso di minimo tempo comprenderebbe la tratta marittima A-C con un tempo di percorrenza netto di 21 ore. Evidentemente, entrambi i calcoli sono sbagliati perché il minimo percorso sul tutto strada supera abbondantemente il numero di ore di sosta richieste, e lo stesso accade per il percorso misto strada-mare per il quale anche la tratta terrestre da C alla destinazione imporrebbe una sosta.

Per ovviare a tale inconveniente occorre quindi rappresentare le impedenze non additive attraverso archi additivi, sulla scorta di quanto già fatto nel paragrafo 2.3.3.1 per rappresentare su grafo le tariffe del servizio di trasporto marittimo decrescenti con la distanza. Considerando quindi che i modelli topologici per il trasporto marittimo e ferroviario sono già stati implementati in questo modo, occorre solo costruire degli opportuni modelli topologici per la strada e per la navigazione interna, in cui ciascuna coppia o-d è direttamente collegata con un arco fittizio rappresentativo dell'intero spostamento, a cui sono associati i tempi e i costi complessivi.

Un altro elemento di rilevante importanza nella costruzione del modello topologico si riferisce poi al seguente aspetto: in alcune applicazioni – ad esempio quando si intende fornire informazioni circa le alternative modali e di percorso disponibili con le relative prestazioni o, come si vedrà tra breve, nell'ambito dell'implementazione di modelli di scelta modale – si rende necessario imporre il passaggio per un determinato modo di trasporto oppure calcolare un minimo percorso che utilizzi necessariamente una data sequenza di modi. In generale, invece, il modello topologico sin qui descritto potrebbe generare un minimo percorso su rete multimodale che non utilizzi uno o più modi.

A tal proposito, è interessante sottolineare che l'approccio a nodi clonati introdotto nel paragrafo 2.3.3.1 per la rappresentazione di impedenze di transshipment diverse da quelle di primo accesso al modo consente agevolmente di costruire una rete in cui si forzi una data sequenza di modi: a tal fine basta collegare con archi di trasferimento modale i soli nodi clonati dei terminal del modo i -mo della sequenza con quelli non clonati del modo $i+1$ -mo nella sequenza. Un esempio operativo relativo alla sequenza strada-mare-strada è riportato nella seguente Figura 37.

L'approccio introdotto consente di calcolare i minimi percorsi in maniera immediata utilizzando gli algoritmi di minimo percorso standard con riferimento ad una data impedenza, anch'essa definita coerentemente tra i segmenti monomodali (ad es. costo generalizzato per tutti).

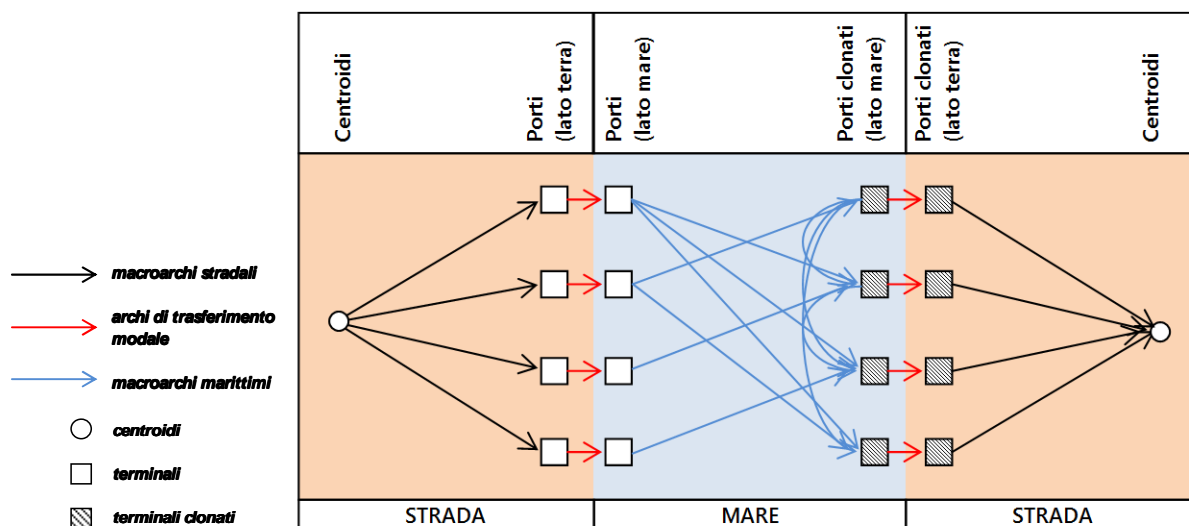


Figura 37 – Esempio di costruzione di un modello di offerta multimodale che rispetti una data sequenza di modi

Ovviamente, non è escluso che venga un minimo percorso in cui si passi per lo stesso porto più volte, in particolare ciò può accadere perché effettuando transshipment in uno dei porti clonati si può rientrare nel porto di partenza, che è diverso dal nodo corrispondente non clonato da cui si è partiti. Ciò ovviamente non rappresenta un problema, anzi in post-processo è un modo intuitivo di escludere percorsi in cui la modalità marittima è dominata da quella stradale. Infine, è da sottolineare che l'unico problema che potrebbe ancora presentarsi in questo approccio è legato alla modellazione del Ro-Ro accompagnato in quanto, se la tratta marittima ha una lunghezza inferiore alle 8 ore – corrispondenti al tempo di riposo necessario per un autista in servizio (paragrafo 2.3.2.2) – occorre sommare in post-processo la durata delle tratte di terminalizzazione terrestre in origine e in destinazione, calcolare gli eventuali tempi di riposo totali e sottrarre il tempo di viaggio sulla tratta marittima. Ciò conduce chiaramente all'individuazione di un problema sub-ottimo.

Una volta definito il modello topologico come appena descritto, in termini di modello analitico basta utilizzare i modelli analitici corrispondenti a ciascun segmento di offerta monomodale, e definire opportune impedenze negli archi di trasferimento modale³⁸. I valori effettivi delle impedenze temporali e di costo utilizzati nella presente ricerca sono stati direttamente desunti dai valori veri laddove disponibili, e in mancanza si è fatto riferimento a dei valori parametrici pari a 4 ore e 50 € rispettivamente per una spedizione intermodale di una unità di trasporto (container da 40', cassa mobile di tipo C, semirimorchio) ovvero pari a

³⁸ È utile sottolineare che, per come sono state definite le impedenze all'interno di ciascun modello di offerta monomodale, le impedenze associate agli archi di trasferimento non sono legate ai tempi/costi delle operazioni di carico/scarico, ma si riferiscono solo ad extracosti/extratempo di trasferimento all'interno del nodo multimodale nel passaggio da un modo all'altro.

4 ore e 50€ per una tonnellata bulk solida. A partire da essi, per il calcolo del costo generalizzato di trasporto valgono le stesse considerazioni svolte nell'ambito della descrizione del modello di offerta di ciascun singolo modo.

2.3.7 Codifica del modello di offerta

Il modello di offerta sin qui descritto è stato implementato con un apposito codice di calcolo in Visual Basic 2010, che legge in input un database di Access che contiene i dataview dei grafi monomodali direttamente esportati da TransCad e una serie di tabelle che definiscono tutti i parametri e le caratteristiche delle funzioni di costo da utilizzare. In particolare, possono essere definiti dei segmenti di offerta monomodali, in coerenza con quanto detto in precedenza, e dei corrispondenti segmenti multimodali ottenuti come sequenza ordinata di segmenti monomodali. Inoltre, per ciascuna sequenza si può scegliere l'attributo di impedenza su cui cercare il minimo percorso, tra i seguenti: costo generalizzato di trasporto (con VTTS definito dall'utente), costo monetario, tempo totale, distanza.

Il codice restituisce in output le skim calcolate in formato testo, così da permettere una diretta successiva importazione in qualsiasi altro software, fornendo sia il minimo percorso per ciascuna coppia o-d sia la sequenza di terminali e di servizi corrispondentemente utilizzata. Infine, esiste una modalità debug nella quale è possibile scrivere una serie di parametri di output aggiuntivi utili a verificare e a validare le prestazioni del modello di offerta.

La validazione del modello di offerta è stata condotta utilizzando una serie di basi dati a disposizione nell'ambito delle applicazioni della tesi, così da adottare un approccio di tipo *hold out* rispetto ai parametri utilizzati per la calibrazione e la definizione delle funzioni di costo. Esempi di dati e di attività di validazione in tal senso saranno proposti nel Capitolo 4.

3 MODELLO DI DOMANDA

3.1 Introduzione

Il presente capitolo descrive gli aspetti teorici e implementativi affrontati nel corso della ricerca per la predisposizione di un sistema di modelli per la simulazione della domanda di trasporto relativa all'area di studio Euro-Mediterranea riportata in Figura 16 nel Capitolo 2. Normalmente, quando si affrontano problemi di analisi della domanda di mobilità passeggeri, non sono disponibili matrici origine-destinazione all'attualità, e ciò è vero indipendentemente dalla scala territoriale di applicazione del modello³⁹. Ciò richiede da subito l'applicazione di un sistema di modelli matematici, tipicamente un modello a quattro stadi ad aliquote parziali, per una prima stima di una matrice o-d eventualmente modale, ed una successiva correzione aggregata di tipo GLS sulla base di conteggi di traffico eventualmente disponibili per l'area di studio.

Nel caso del trasporto merci a scala internazionale, oggetto della presente ricerca, risultano invece disponibili serie storiche di matrici o-d merci sufficientemente dettagliate, seppur con alcune limitazioni e con la necessità di dover procedere ad opportune attività di post-processo dei dati. Ciò costituisce un fondamentale vantaggio in termini di qualità della simulazione complessiva del sistema di trasporto merci, perché permette da un lato di disporre di una base dati molto ricca per la calibrazione di modelli di domanda merci statisticamente complessi (ad esempio con tecniche di tipo *panel data*) e dall'altro, comunque, di ancorare le previsioni di variazioni di domanda fornite dai modelli alla matrice o-d attuale (tecnica del *pivoting*).

In generale, quando si parla di domanda di trasporto merci, si osserva una complessità intrinseca del fenomeno maggiore rispetto al trasporto passeggeri. In generale, la disponibilità di un bene in una data zona per consumo finale (ad es. la presenza di un prodotto sullo scaffale di un supermercato per la vendita al dettaglio) è resa possibile grazie alla produzione di tale bene in un'altra zona: lo spostamento corrispondente di merce che ne risulta tra la zona di produzione e la zona di consumo può quindi essere rappresentato nell'ambito di una matrice di domanda merci, che viene per l'appunto detta in letteratura tecnica matrice di produzione-consumo (*production-consumption* o *p-c matrix*). Nella realtà, l'organizzazione e

³⁹ Anche l'ISTAT, ad esempio, fornisce una matrice o-d passeggeri a livello comunale per l'Italia (ultima rilevazione durante il Censimento 2001), ma solo relativamente agli spostamenti per studio e per lavoro, dunque non utile per la stima della mobilità complessiva.

l'esecuzione dello spostamento del prodotto dalla zona di produzione alla zona di consumo è conseguenza della risoluzione del problema più generale di progettare e implementare la supply chain in outbound di una data azienda di produzione. Ciò si traduce, nella pratica, in scelte di tipo logistico e trasportistico: definizione della rete di supply chain con la presenza eventuale di uno o più magazzini intermedi in zone diverse da quelle di produzione e di consumo, scelta delle frequenze di spedizione, individuazione del fornitore dei servizi di trasporto a cui demandare l'organizzazione effettiva degli spostamenti per ciascuno degli anelli della supply chain in outbound, e così via. Di conseguenza, la matrice di produzione-consumo prima definita potrebbe non corrispondere ad alcuno spostamento fisico effettivo tra la zona di produzione e la zona di consumo, e potrebbe invece tradursi in una serie di matrici origine-destinazione rappresentative dei vari passi della catena di spostamenti tra la zona iniziale di produzione e la zona finale di consumo. Per di più, i diversi spostamenti o-d nell'ambito della supply chain di outbound potrebbero essere caratterizzati da scelte logistiche e trasportistiche effettuate da soggetti differenti. Quanto detto, ovviamente, si riferisce solo ad una parte della supply chain complessiva, in quanto la produzione di un bene in una zona richiede un opportuno approvvigionamento di materie prime e/o di semilavorati (supply chain di inbound), anch'esso rappresentabile con un certo numero di matrici di produzione-consumo⁴⁰ ciascuna con le sue corrispondenti matrici origine-destinazione. In tal senso, entrano in gioco anche il mix produttivo e la tecnologia con cui quel bene viene prodotto, ovvero quali e quante tipologie di materie prime e semilavorati sono necessarie per la produzione (*interdipendenze settoriali*).

Risulta quindi evidente la complessità intrinseca del fenomeno, che si traduce in una corrispondente complessità di implementazione di sistemi di modelli di simulazione, per ciascuna parte dei quali sono stati sviluppati in letteratura tecnica numerosi filoni di ricerca indipendenti e in alcuni casi ormai decennali. Tenendo in considerazione gli obiettivi finali della presente ricerca di dottorato, si è cercato di sviluppare un modello di domanda che da un lato fosse sufficientemente semplice da poter essere facilmente applicato ad un'area di studio vasta, e dall'altro però conservasse comunque alcune caratteristiche modellistiche rilevanti tali da consentire una rappresentazione non eccessivamente semplificata della realtà.

Operativamente, si è proceduto come segue. Le matrici disponibili da fonte, di cui si è fatto cenno in precedenza, sono in realtà matrici origine-destinazione e non matrici produzione-

⁴⁰ In questo caso per "consumo" si intende non il consumo finale ma quello che più correttamente dovrebbe chiamarsi reimpiego intermedio.

consumo nel senso prima definito: in particolare, esse adottano come zone di origine e destinazione nodi rilevanti della supply chain sia in inbound sia in outbound. Ad esempio, una supply chain in outbound del tipo zona di produzione → magazzino intermedio nazionale → magazzino di distribuzione regionale → zona di consumo finale è rappresentata da tre diversi spostamenti contenuti in tre diverse matrici nelle basi dati disponibili, rispettivamente da zona di produzione a magazzino intermedio, da quest'ultimo al magazzino di distribuzione, e da quest'ultimo alla zona di consumo finale. Le tre matrici (e quindi i tre spostamenti relativi) sono tra loro scollegate, nel senso che non è possibile risalire da esse al flusso di supply chain, e ciò impedisce di modellare esplicitamente le scelte logistiche e localizzative nell'ambito della supply chain stessa. Ritenendo però questo aspetto poco rilevante per gli obiettivi della tesi, si è riconosciuto che ciascuna delle matrici disponibili corrisponde effettivamente a uno spostamento fisico tra le corrispondenti zone di origine e destinazione. Di conseguenza, si è deciso di implementare sulla base di queste matrici un modello gravitazionale, che riproduca il più fedelmente possibile i flussi o-d (nel senso prima chiarito) nello scenario attuale e che sia utilizzabile in previsione in scenari di progetto. A valle del modello gravitazionale si innesta poi un modello di scelta modale, che ripartisce il flusso o-d tra i modi (o le sequenze di modi multimodali e intermodali) disponibili e che consente di calcolare matrici o-d modali utili per alimentare direttamente le procedure di interazione domanda-offerta.

Ovviamente, anche se a fini previsionali l'utilizzo del modello gravitazionale soffre teoricamente dell'incapacità di tener conto degli effetti derivanti dalla mancata modellazione delle interdipendenze settoriali, nella pratica esso costituisce un elemento necessario nell'ambito di un DSS, tenendo conto sia della sua semplicità operativa sia del fatto che l'applicazione di un modello MRIO richiede comunque la stima di coefficienti di scambio che sono stimati proprio attraverso un gravitazionale.

In generale, il modello input-output multi regionale (MRIO) costituisce a sua volta il più semplice esempio di modello di interazione tra il sistema di trasporto merci e il sistema delle attività economiche, in quanto esso consente di calcolare le variazioni di produzione e di Prodotto Interno Lordo (PIL) conseguenti ad interventi sul sistema di trasporto. Per questo motivo, si è deciso nella parte finale della tesi (capitolo 5) di introdurre alcune estensioni prospettiche del modello MRIO, finalizzate ad una più realistica rappresentazione dell'interazione trasporti-economia.

Coerentemente, la struttura del capitolo è la seguente: il paragrafo 3.2 descrive le basi dati

utilizzate per lo sviluppo delle componenti di domanda del DSS, il paragrafo 3.3 riporta la fase di implementazione del modello gravitazionale, il paragrafo 3.4 discute le procedure di predisposizione delle matrici o-d merci complessive, il paragrafo 3.5 illustra il modello di scelta modale, il paragrafo 3.6 riporta alcuni dettagli sull'assegnazione, infine il paragrafo 3.7 introduce le caratteristiche fondamentali dei modelli MRIO.

3.2 Basi dati per la mobilità merci a scala Euro-Mediterranea

3.2.1 Matrici o-d

Come accennato nel paragrafo 3.1, nel caso del trasporto merci risultano disponibili da varie fonti serie storiche di matrici origine-destinazione di flussi merci. Poiché la presente ricerca si è focalizzata sull'area di studio Euro-Mediterranea riportata in Figura 16, ci si è soffermati prevalentemente sugli scambi all'interno di tale area e da quest'ultima da/verso il resto del mondo. A tal proposito, un quadro sinottico delle fonti dati di riferimento è riportato nella seguente Tabella 19: in essa va considerato che non sono presi in considerazione gli spostamenti interni a ciascun Paese, ad eccezione dell'Italia per la quale si è effettuata una valutazione di dettaglio dei dati messi a disposizione dall'ISTAT.

		EU		resto del mondo
		regioni italiane	altri paesi	
EU	regioni italiane	ISTAT *	ISTAT COEWEB	ISTAT COEWEB
	altri paesi	ISTAT COEWEB	EUROSTAT (INTRASTAT) UNCTAD	EUROSTAT (COMEXT) UNCTAD
resto del mondo		ISTAT COEWEB	EUROSTAT (COMEXT) UNCTAD	UNCTAD

* non aggiornato dal 2008

Nota: non sono disponibili dalle fonti dati citate i flussi di scambio interni a ciascun Paese.

Tabella 19 – Quadro sinottico delle fonti dati per la ricostruzione delle matrici o-d merci a scala Euro-Mediterranea

In particolare, a livello internazionale le due fonti dati principali sono EUROSTAT (database INTRASTAT e COMEXT) e UNCTAD (database COMTRADE), che forniscono in generale matrici o-d annuali disaggregate per categoria merceologica secondo diverse nomenclature⁴¹: NST/R, NC2, SITC3, CPA.

⁴¹ Il riferimento per la codifica delle nomenclature e per le tabelle di conversione è il database RAMON di EUROSTAT disponibile a http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/index.cfm?TargetUrl=DSP_PUB_WELC.

Il database EUROSTAT è suddiviso in due parti: il database COMEXT fornisce dati sui flussi da/verso ciascun Paese UE27 verso/da ciascun altro Paese esterno, mentre il database INTRASTAT fornisce dati sui flussi tra i Paesi UE27, esclusi i flussi nazionali. La copertura temporale è estremamente vasta ed ha cadenza annuale. I dati di flusso sono disponibili per diverse nomenclature e, in termini di unità di misura, in valore (€) e quantità (tonnellate e altre unità di misura a seconda della tipologia di merce). Per il database COMEXT sono inoltre disponibili informazioni sul modo di trasporto e sull'unità di trasporto intermodale eventualmente utilizzata. Tali informazioni, purtroppo, non sono più esplicitamente disponibili nell'ambito delle rilevazioni INTRASTAT.

Il database COMTRADE della UNCTAD fornisce informazioni di scambio tra tutti i Paesi del mondo, dunque è parzialmente sovrapposto ai database EUROSTAT. Anche per esso sono disponibili diverse nomenclature e, per alcune, i dati sono rilevati sia in valore (US\$) sia in quantità (tonnellate). Non sono invece disponibili informazioni sul modo di trasporto. La copertura temporale è estremamente vasta e superiore a quella dell'EUROSTAT in generale.

Un aspetto fondamentale nell'interpretazione e dunque nella successiva applicazione di tali database riguarda la modalità con la quale sono rilevati i flussi di merce in essi riportati⁴². In particolare gli spostamenti rilevati sono classificabili come spostamenti o-d, ovvero tengono conto anche di magazzini e/o altri punti intermedi come possibili origini e/o destinazioni. Occorre però a tal proposito introdurre una precisazione relativa ai magazzini di custodia e lavorazione in aree di esenzione doganale (ad esempio nelle *free zones*): in particolare, vi sono un sistema di rilevazione di tipo *generale*, in cui i flussi da/verso i magazzini doganali di un dato Paese vengono sempre e comunque registrati come import/export di quel Paese, ed uno di tipo *speciale*, in cui tali flussi sono registrati solo se poi le merci vengono sdoganate nel Paese di destinazione⁴³. In entrambi i sistemi, inoltre, non sono registrate triangolazioni per soli motivi trasportistici: ad esempio, un flusso Italia-Marocco che utilizza un porto spagnolo viene registrato direttamente come Italia-Marocco e non vi è traccia del transito sulla Spagna. Ciò detto, EUROSTAT utilizza il sistema speciale per il database COMEXT (ovviamente il database INTRASTAT riguarda flussi non soggetti a dogana e dunque il

⁴² In generale, si deve fare riferimento ai manuali interpretativi e alle guide di consultazione, che per UNCTAD son la *UN international merchandise trade statistics (Series M, n° 52 rev 2, 1998)* e per EUROSTAT la *Statistics on the trading of goods (ISSN 1725-0153)*.

⁴³ Ad esempio, un flusso Italia-magazzino doganale Marocco-Italia-Olanda con sdoganamento in Olanda è registrato nei flussi merci Italia-Marocco, Marocco-Italia e Italia-Olanda secondo il sistema generale e solo nei flussi merci Italia-Olanda secondo il sistema speciale.

problema non è applicabile) mentre UNCTAD utilizza il sistema generale.

Il problema dello sdoganamento riveste inoltre ulteriore importanza ai fini trasportistici, determinando quello che è noto in letteratura come *effetto Rotterdam*. Si consideri il caso di una spedizione di un container dagli USA che sbarca a Rotterdam, viene trasportato in Germania via ferrovia dove è sottoposto a sdoganamento, ed infine consegnato in Italia via strada (disegno a sinistra in Figura 38). In questo caso, EUROSTAT rileva nel database COMEXT un primo spostamento dagli USA in Germania (Paese di sdoganamento) via mare⁴⁴, ed un secondo spostamento nel database INTRASTAT tra Germania e Italia senza indicare il modo di trasporto⁴⁵. Per inciso, questi spostamenti non sono tra di loro riconducibili. Si consideri invece il caso in cui la stessa spedizione USA-Italia, una volta sbarcata a Rotterdam, prosegua via mare con un servizio feeder verso un porto Italiano, dove viene sdoganata (disegno a destra in Figura 38). In questo caso EUROSTAT registra nel solo database COMEXT un flusso USA-Italia via mare.

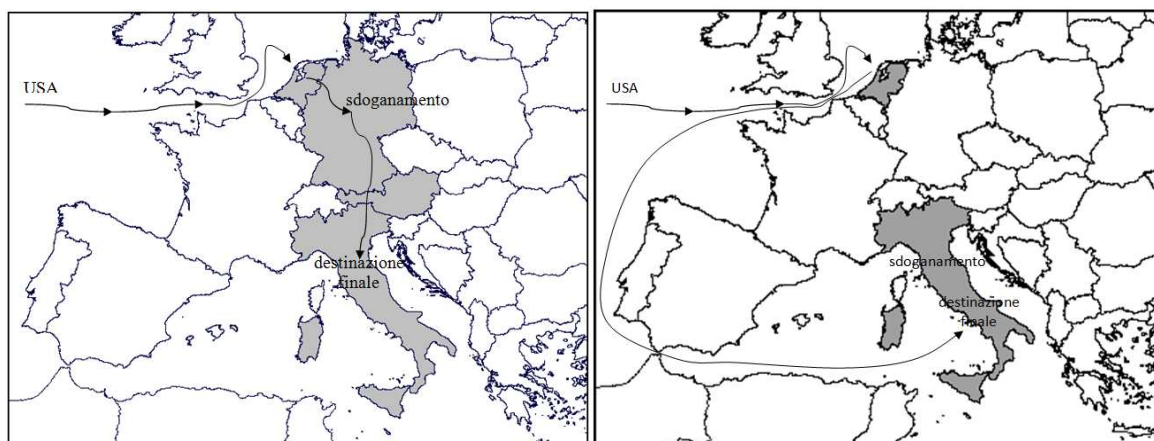


Figura 38 – Esempio di “effetto Rotterdam” nelle statistiche di domanda merci EUROSTAT

In entrambi i casi, si nota come ad uno spostamento produzione-consumo USA-Italia corrispondano nel primo caso due spostamenti o-d (USA-Germania e Germania-Italia) e nel secondo un solo spostamento o-d (USA-Italia). In genere, il primo caso corrisponde ad una situazione nella quale, molto probabilmente, vi è un European warehouse nel quale vengono effettuate ultime operazioni sul prodotto, oppure stoccaggio/magazzinaggio/consolidamento per ottimizzazione della supply chain distributiva, prima della distribuzione finale in Italia, e

⁴⁴ Il database EUROSTAT COMEXT registra come modo di trasporto quello attivo alla frontiera della UE, e non del Paese di arrivo finale della merce. Nell'esempio, quindi, anche se il container è entrato in Germania via ferrovia, conta il fatto che abbia attraversato la frontiera UE al porto di Rotterdam in Olanda.

⁴⁵ Ciò è purtroppo dovuto a una modifica dei regolamenti comunitari, che a partire dal 2007 ha reso non più obbligatoria la rilevazione statistica di questo dato.

dunque si può ritenere non significativamente distorta l'applicazione della base dati per la calibrazione di un modello gravitazionale. Il secondo caso invece non presenta problemi in tal senso. Inoltre, è importante sottolineare che, in entrambi gli esempi, la rappresentazione della sequenza di modi di trasporto e di percorsi utilizzati è assolutamente carente e parziale: nel caso a sinistra di Figura 38, ad esempio, si sa solo che la merce è giunta via mare in Germania, mentre nella realtà è sbarcata in Olanda e ha proseguito via ferrovia, mentre nel caso a destra di Figura 38 non si è in alcun modo in grado di risalire al fatto che la merce sbarcata in Italia vi sia giunta con un servizio feeder dopo un'operazione di transshipment a Rotterdam. Per questo motivo è fondamentale disporre di modelli di offerta sufficientemente sofisticati, come quello proposto ed implementato nel Capitolo 2, in grado di rappresentare correttamente tali complesse catene multimodali e intermodali.

Un altro aspetto rilevante da considerare nell'analisi e nell'utilizzo di tali database riguarda il modo in cui sono calcolati i flussi in valore. Infatti, vi è un primo problema circa la valuta utilizzata e l'anno di cambio di riferimento corrispondente. Inoltre, in genere le esportazioni sono calcolate FOB mentre le importazioni CIF⁴⁶: questo comporta che lo stesso dato di flusso, letto una volta come export da o verso d e una volta come import di d da o , non sia uguale: per alcuni autori (si veda ad es. Martínez-Zarzoso and Suárez-Burguet (2006)), addirittura, la differenza tra CIF e FOB rappresenterebbe proprio una proxy dei costi di trasporto complessivi tra o e d . Tale discrepanza di valore a parità di flusso è nota in letteratura come problema del *mirror trade*.

Proseguendo nell'analisi dei database EUROSTAT e UNCTAD, si osserva che l'informazione sul modo di trasporto è, nel primo, riferita al solo modo di trasporto attivo alla frontiera della UE, mentre nel secondo è del tutto assente. Infine, occorre sottolineare che nelle parti in cui sono sovrapposti, i due database presentano leggere differenze nei flussi in quantità, principalmente per effetto di diverse ipotesi sui fattori di conversione delle unità di misura non standard (pezzi, litri, parti ecc...). In ogni caso, le due basi dati sono ampiamente confrontabili e integrabili.

Resta da affrontare il problema della stima delle quantità che viaggiano per spostamenti produzione-consumo e/o origine-destinazione all'interno di ogni singolo Paese dell'area di studio. A tal fine, si è proceduto innanzitutto per l'Italia analizzando le basi dati messe a

⁴⁶ FOB sta per *free on board*, ovvero valore della merce sul vettore con cui lascia il Paese di origine, e CIF sta per *cost insurance and freight*, ovvero valore della merce in arrivo nel Paese di destinazione. In parole povere, CIF comprende anche tutti i costi di trasporto tra origine e destinazione mentre FOB no.

disposizione dall'ISTAT.

In tal senso, il riferimento principale è costituito dal Conto Nazionale Trasporti che con cadenza annuale – anche se l'aggiornamento effettivo delle tabelle procede purtroppo a rilento e i dati sono disponibili effettivamente con alcuni anni di ritardo – fornisce matrici o-d di scambi a livello regionale per le modalità strada, ferrovia e mare. Il livello di disaggregazione merceologica è variabile o assente (cinque macrobranche per la strada, tipologia di carico per il mare, tipologia di servizio per il ferroviario), e la metodologia di rilevazione dei dati è anch'essa non omogenea⁴⁷. Ciononostante, si tratta di una buona base di partenza per la stima delle matrici nazionali. In aggiunta, ISTAT dissemina anche un database di scambi internazionali dell'Italia, denominato COEWEB, che fornisce di fatto gli stessi dati di EUROSTAT INTRASTAT e COMEXT centrati sull'Italia, con il vantaggio a volte di un maggior livello di disaggregazione geografica⁴⁸. Inoltre, l'informazione sul modo di trasporto si riferisce all'attraversamento del confine nazionale e non di quello UE, e questo determina ovviamente un vantaggio nella valutazione delle quote modali in accordo con quanto detto in precedenza.

Per gli altri Paesi dell'UE a 15 si è poi fatto riferimento ai database ETIS e ETISPlus⁴⁹ sviluppati nell'ambito di alcuni progetti europei e compatibili con il sistema di modelli TRANSTOOLS. Da tale fonte è disponibile la matrice interna a ciascun Paese, con livello di disaggregazione geografico NUTS2, disaggregata per modo di trasporto e macrocategoria merceologica (10 categorie SITC 1-cifra) in valore e in tonnellate.

Infine, per i Paesi esterni alla UE a 15 ma appartenenti all'area di studio di Figura 16 si è proceduto utilizzando le matrici o-d merci messe a disposizione da TRANSTOOLS. In particolare, poiché la zonizzazione del modello di offerta di quest'ultimo non coincide in buona parte con quella adottata in Figura 18, si è aggregato il dato di domanda interna a livello nazionale e si è adottata una successiva ripartizione a livello di zonizzazione utilizzando le procedure descritte nel paragrafo 3.4.

⁴⁷ Ad esempio, nel caso della strada le regioni di origine e di destinazione sono quelle effettive dello spostamento, mentre nel caso del mare le regioni di origine e di destinazione si riferiscono rispettivamente a quelle del porto di imbarco e di sbarco.

⁴⁸ I flussi import/export sono forniti, ad esempio, lato Italia a livello provinciale in valore e a livello regionale in quantità. In quest'ultimo caso, però, il livello di disaggregazione geografica lato estero è più che nazionale e riferito ad alcune macroaree economiche mondiali.

⁴⁹ <http://www.etisplus.eu/default.aspx>. Alla data di consegna della tesi il database era ancora in aggiornamento.

3.2.2 Altri dati di flussi merci

Le fonti dati citate nel paragrafo precedente forniscono, oltre alle matrici origine-destinazione già descritte, altri dati di domanda merci utili nella fase di implementazione e validazione del sistema di modelli di domanda.

In primo luogo, EUROSTAT fornisce a livello NUTS3 il totale dei traffici emessi e attratti da ciascuna zona per i Paesi UE a 27, suddiviso tra traffico interno e internazionale: tale dato è particolarmente importante nell'ambito dei modelli per disaggregare la domanda da livello nazionale a livello di zona, come si vedrà nel paragrafo 3.4. Inoltre, attraverso la sezione tematica *Transport*, EUROSTAT fornisce dati di traffico relativi alle singole modalità di trasporto (strada, mare, ferrovia, aereo) in termini aggregati (ad es. veicoli km e tonnellate km nazionali e internazionali suddivise per tipologia di traffico e merceologie trasportate) e disaggregati, in quest'ultimo caso con riferimento particolare ai traffici dei nodi portuali. A tal proposito, sono anche disponibili matrici o-d di traffici container tra porti dell'area UE a 27 e il mondo.

Anche ISTAT fornisce alcuni dati di approfondimento tematico nel settore dei trasporti, sempre in termini di indicatori aggregati di traffico e di dati disaggregati a livello di nodi portuali, relativamente ai traffici che hanno origine e/o destinazione all'interno del nostro Paese. Ovviamente, le Autorità Portuali stesse forniscono attraverso i loro uffici di statistica dati e rilevazioni, spesso molto dettagliate: alcune di esse sono state utilizzate nelle applicazioni presentate nel capitolo 4 della ricerca.

Inoltre, sono da segnalare alcune rilevazioni da parte di organismi pubblici e società concessionarie, utili soprattutto nella fase di validazione del modello. In questa sede è opportuno ricordare:

- le rilevazioni ai valichi alpini;
- i traffici interportuali forniti dalle pubblicazioni UIR;
- i dati di TGM delle società concessionarie autostradali italiane, disponibili per il periodo 1998-2010.

Infine, vi sono a disposizione conteggi di traffico puntuali sulla rete stradale italiana ed europea da studi e ricerche precedentemente effettuati presso il Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti, anch'essi utilizzabili a fini di validazione.

3.3 Un modello gravitazionale per l'area Euro-Mediterranea

Il presente paragrafo descrive l'implementazione di un modello gravitazionale per la simulazione degli scambi di domanda merci per l'area Euro-Mediterranea. In particolare, il paragrafo 3.3.1 riporta alcune considerazioni di inquadramento generale sulla scelta della tipologia di modello più idonea per la presente ricerca, il paragrafo 3.3.2 riporta uno stato dell'arte dei modelli gravitazionali per la simulazione del trasporto merci a livello internazionale, infine il paragrafo 3.3.3 descrive la fase di specificazione e calibrazione del modello proposto.

3.3.1 Inquadramento generale

I modelli gravitazionali rientrano nella categoria più ampia dei modelli di simulazione della domanda di trasporto preposti al calcolo delle matrici origine-destinazione. In tale ambito (Cascetta, 2009) è possibile individuare tre categorie di approcci.

Un primo approccio, definibile di *generazione-distribuzione*, esprime la domanda d_{od} che si scambia la coppia o-d in un dato intervallo di tempo relativamente ad una certa merceologia (i pedici di tempo e di categoria merceologica sono omessi per semplicità di notazione) come il prodotto della domanda g_o generata dalla zona o per la percentuale di domanda t_{od}^{exp} che da o è destinata (esportata) in d , ovvero:

$$d_{od} = g_o \cdot t_{od}^{\text{exp}} \quad (3.1)$$

In questo caso, il modello che fornisce la domanda generata può essere espresso come una generica funzione di variabili di capacità produttiva della zona di origine o , ad esempio le unità produttive up_o e il livello di produzione X_o , mentre il modello che calcola le percentuali di export (cioè di distribuzione) è una funzione di attributi di massa della zona d di destinazione, ad esempio il numero di consumatori $cons_d$ e il livello di consumo Y_d , e di attributi di impedenza tra la zona di origine e quella di destinazione, esprimibili formalmente come un costo generalizzato c_{od} . Si ottiene quindi rispettivamente:

$$g_o = f(up_o, X_o, \dots) \quad (3.2)$$

$$t_{od}^{\text{exp}} = f(cons_d, Y_d, c_{od}, \dots) \quad (3.3)$$

Si consideri inoltre che nella specificazione di g_o possono eventualmente intervenire anche

attributi di accessibilità attiva⁵⁰ complessiva della zona di origine, funzione ad esempio della soddisfazione del contesto di scelta modellato attraverso la (3.3): in altre parole, si può assumere che a parità di massa una zona più accessibile abbia una maggior capacità di generazione. In questo caso, il modello (3.2) viene definito elastico rispetto agli attributi di livello di servizio del sistema di trasporto, viceversa se non si introducono nella specificazione tali tipologie di attributi si parla di modello rigido. In generale, l'approccio dato dalla (3.1) è detto di tipo *supply driven*, nel senso che è una variazione di offerta – espressa attraverso una variazione di domanda generata con la (3.2) – a determinare una variazione dei flussi o-d tra le zone.

Un secondo approccio speculare al primo, detto di *attrazione-acquisizione*, esprime invece la domanda d_{od} come il prodotto della domanda totale a_d attratta dalla zona d per la percentuale t_{od}^{imp} acquisita (importata) dalla zona di origine o , ovvero:

$$d_{od} = a_d \cdot t_{od}^{imp} \quad (3.4)$$

Sempre specularmente al caso precedente, la domanda attratta è esprimibile attraverso un modello funzione di variabili di attrazione della zona d (numero di consumatori $cons_d$ e il livello di consumo Y_d) e la percentuale di acquisizione t_{od}^{imp} è modellabile in funzione di attributi di generazione della zona di origine o (unità produttive up_o e livello di produzione X_o) e di impedenza c_{od} tra zona di origine e destinazione, ottenendo rispettivamente:

$$a_d = f(cons_d, Y_d, \dots) \quad (3.5)$$

$$t_{od}^{imp} = f(up_o, X_o, c_{od}, \dots) \quad (3.6)$$

Con le stesse considerazioni del caso precedente, a_d può essere resa elastica rispetto ad attributi di accessibilità passiva della zona d , ottenendo quindi una specificazione elastica rispetto agli attributi di livello di servizio. L'approccio (3.4) è questa volta detto di tipo *demand driven*, nel senso che è una variazione di domanda – espressa attraverso una variazione di domanda attratta con la (3.5) – a determinare una variazione dei flussi o-d tra le zone.

Un terzo approccio, quello per l'appunto di tipo *gravitazionale*, riproduce la domanda d_{od}

⁵⁰ Per accessibilità attiva di una zona si intende la facilità di raggiungere dalla zona in considerazione tutte le quelle circostanti.

congiuntamente in funzione di caratteristiche di attrazione della zona di destinazione, di caratteristiche di emissione della zona di origine e dell'impedenza tra le due zone, ovvero:

$$d_{od} = k \cdot g_o \cdot a_d \cdot f(c_{od}) \quad (3.7)$$

nella quale k è una costante, g_o e a_d sono modellabili rispettivamente con le relazioni (3.2) e (3.5) viste in precedenza e $f(c_{od})$ è una funzione non crescente del costo generalizzato c_{od} . È evidente il termine gravitazionale come analogia con la legge di gravitazione universale di Newton.

La questione evidente da affrontare è quale dei tre approcci descritti sia il più adatto a rappresentare la domanda di trasporto merci. A tal proposito, occorre dire che non esiste una regola di carattere generale che consenta di preferire un approccio all'altro, piuttosto è fondamentale ricostruire quali siano i comportamenti previsionali di ciascuno di essi e confrontarli con le aspettative che si hanno circa l'evoluzione del sistema che si intende modellare. Per approfondire questo aspetto, si consideri il caso riportato nella seguente Figura 39, che si riferisce a due origini e due destinazioni, con tre connessioni possibili: dalla zona di origine o_1 è possibile raggiungere la destinazione d_1 , mentre dalla zona di origine o_2 è possibile raggiungere entrambe le destinazioni d_1 e d_2 . Si supponga di effettuare un intervento infrastrutturale che riduca il costo di trasporto tra o_2 e d_1 , e che a fronte di ciò si osservi la variazione di domanda riportata a destra in Figura 39: in altre parole, si ipotizza che la domanda tra o_2 e d_1 aumenti per effetto della riduzione del costo di trasporto, e che ciò comporti una riduzione di domanda tra o_2 e d_2 , mentre la domanda tra o_1 e d_1 resta inalterata.

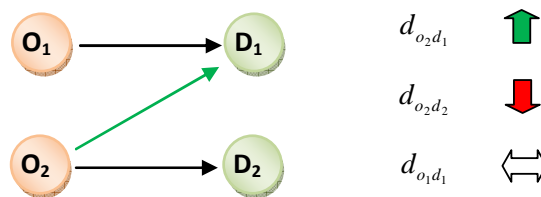


Figura 39 – Esempio di applicazione di un modello gravitazionale: caso studio

Applicando i tre diversi approcci prima descritti, e distinguendo per la (3.2) e (3.5) i casi di specificazione elastica e rigida agli attributi di livello di servizio del sistema di trasporto, si ottengono i risultati riportati nella seguente Figura 40, che riporta anche il confronto con le aspettative definite nella Figura 39.

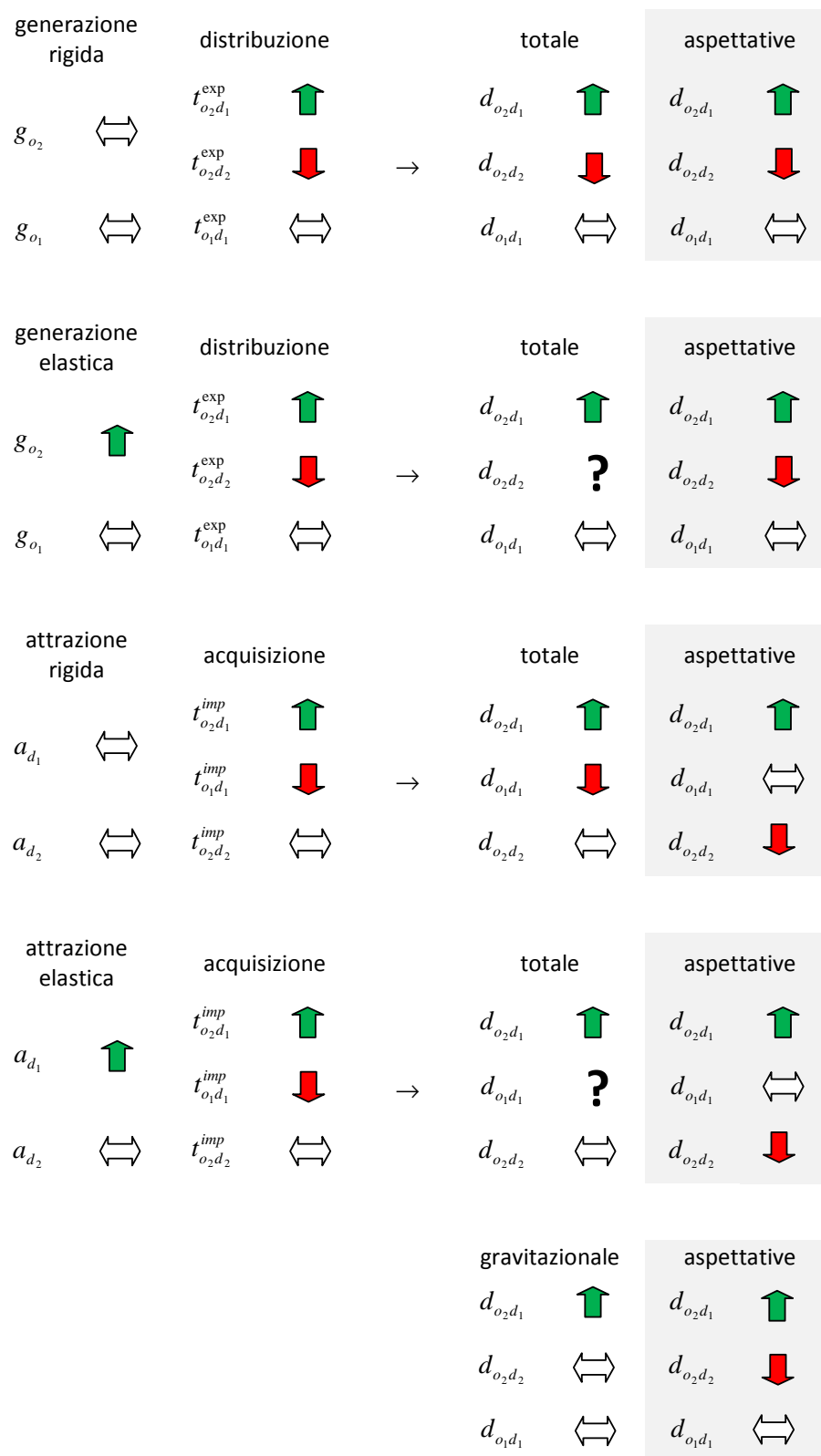


Figura 40 – Comportamento dei tre diversi approcci per l'esempio di Figura 39

In particolare, si nota che tutti gli approcci predicono correttamente un aumento di domanda per la coppia o_2-d_1 , mentre diverso è il risultato per le altre due coppie o-d e quindi per la domanda complessivamente generata ed attratta da ciascuna zona. Nell'esempio fatto,

le aspettative sono coerenti con un modello generazione-distribuzione a generazione rigida; si noti inoltre che nel caso di generazione o attrazione elastica agli attributi di livello di servizio non è in generale sempre possibile formulare delle aspettative chiare sui flussi predetti dal modello, in quanto si moltiplicano termini che hanno un andamento opposto. Inoltre, si osserva che i diversi modelli riproducono variamente due differenti effetti prodotti da cambiamenti nel sistema di trasporto: un effetto sul livello generale della domanda emessa/attratta da una zona e un effetto distributivo sulla struttura degli scambi da/verso quella zona. In tal senso, dall'esempio precedente si può riconoscere che tutti i modelli di tipo generazione/distribuzione e attrazione/acquisizione riproducono un effetto di tipo distributivo, e che gli unici modelli che agiscono a volume di domanda totale invariato sono quelli di generazione/distribuzione o attrazione/acquisizione rigidi. Inoltre, il modello gravitazionale riproduce un effetto di domanda generata puro sui bipoli interessati dalle variazioni di attributi di livello di servizio del sistema di trasporto; inoltre, esso agisce indirettamente anche sulle percentuali di distribuzione o di acquisizione in quanto incrementa i flussi tra alcune coppie o-d lasciando inalterati gli altri.

Ciò consente di trarre alcune regole empiriche:

- se ci si aspettano effetti sia sul volume complessivo di domanda generata sia sulla sua distribuzione, si possono applicare separatamente un modello gravitazionale (per calcolare le variazioni di domanda generata rispetto allo scenario attuale) e un modello generazione/distribuzione rigido per calcolare le sole variazioni di percentuali di distribuzione. Sommando gli effetti si ottiene la simulazione dello scenario futuro;
- se ci si aspettano solo effetti di domanda generata, si può applicare un modello gravitazionale;
- se ci si aspettano solo effetti distributivi, si può applicare un modello generazione/distribuzione o attrazione/acquisizione rigido a seconda dei casi.

Un ultimo aspetto di rilevante importanza riguarda le differenze nelle modalità di applicazione: in particolare, gli approcci generazione/distribuzione e attrazione/acquisizione richiedono necessariamente un'applicazione all'intera area di studio, per il calcolo delle percentuali di distribuzione o di acquisizione rispettivamente, mentre il modello gravitazionale può anche essere applicato ad un sottoinsieme di bipoli, con evidenti

semplificazioni di implementazione.

Ciò premesso, si pone il problema di valutare quale sia il miglior approccio per modellare la domanda di trasporto merci a scala internazionale, e in particolare per l'area di studio oggetto della presente ricerca. A tal fine, si è effettuato un dettagliato stato dell'arte che ha evidenziato come proprio il modello di tipo gravitazionale sia quello più idoneo e robusto per la modellazione di tali flussi di domanda. Coerentemente, nel paragrafo 3.3.2 si riportano i principali risultati dello stato dell'arte e nel paragrafo 3.3.3 si descrive la procedura di implementazione di un modello gravitazionale per l'area di studio di Figura 16.

3.3.2 Stato dell'arte

L'applicazione dei modelli gravitazionali all'analisi degli scambi merci internazionali risale a Timbergen (1962), Pulliainen (1963) e Linneman (1966). Si tratta di una tematica di consolidata applicazione nell'ingegneria dei trasporti e nella geografia economica, con numerosi contributi di sintesi di stato dell'arte disponibili: tra questi, vale la pena menzionare quelli di Bergstrand (1985), Porojan (2001), Egger (2002), Carrere (2006) con la relativa bibliografia e, più recentemente, Kepaptsoglou et al. (2009). Il materiale riportato in questo paragrafo è in buona parte ripreso da quest'ultimo contributo.

Come accennato, il modello gravitazionale di tipo (3.7) si è rivelato essere il più robusto ed affidabile nella modellazione della domanda merci a scala internazionale, grazie a solide basi teoriche e alla facilità di calibrazione e di implementazione. Formalmente, un modello gravitazionale si può esprimere con una relazione di tipo moltiplicativo che lega la domanda d_{od}^{mt} per la coppia $o-d$ relativa ad una categoria merceologica m nell'intervallo temporale t ad una serie di variabili esplicative:

$$d_{od}^{mt} = \beta_0^m \cdot M_o^{mt\beta_1^m} \cdot M_d^{mt\beta_2^m} \cdot TC_{od}^{mt\beta_3^m} \cdot TD_{od}^{mt\beta_4^m} \cdot \delta_o^{mt\beta_5^m} \cdot \delta_d^{mt\beta_6^m} \cdot \delta_{od}^{mt\beta_7^m} \cdot \varepsilon_{od}^{mt} \quad (3.8)$$

nella quale M_o^{mt} e M_d^{mt} sono attributi di massa rispettivamente della zona o e della zona d per la merceologia m nel periodo t , TC_{od}^{mt} attributi di impedenza relativi al sistema di trasporto disponibile tra o e d per la merceologia m nel periodo t , TD_{od}^{mt} attributi di impedenza relativi alle barriere doganali e tariffarie tra o e d per la merceologia m nel periodo t , δ_o^{mt} e δ_d^{mt} dummy rappresentative di caratteristiche della zona di origine o e di destinazione d

rispettivamente per la merceologia m nel periodo t , δ_{od}^{mt} dummy relative alla coppia o-d nel suo insieme e ε_{od}^{mt} un residuo aleatorio formalmente dipendente dalla coppia o-d, dalla merceologia e dal tempo. I coefficienti β_i^m dipendono anch'essi in generale dalla categoria merceologica e devono essere opportunamente calibrati; ovviamente, ci si attende che gli attributi di massa abbiano coefficienti positivi e gli attributi di impedenza coefficienti negativi, mentre per le dummy occorre interpretarne il significato per formulare aspettative sul segno. Vale la pena osservare come tale modello, che nasce per lo più dall'osservazione empirica dei dati a disposizione, abbia alimentato negli anni diversi sforzi tesi a darne una giustificazione ed una specificazione nell'ambito di diverse teorie del commercio internazionale; per tale tipo di studi di natura teorica ci si può riferire a Deardorff (1998), Evenett e Keller (1998), Harrigan (2001), Anderson e van Wincoop (2004).

A valle dello stato dell'arte, sono emerse le seguenti principali scelte per quanto riguarda le categorie di attributi esplicativi prima indicati:

- gli attributi di massa sono in generale scelti tra aggregati macroeconomici (PIL⁵¹, produzione complessiva) e tra variabili socioeconomiche e territoriali (popolazione, numero totale di imprese e di addetti);
- gli attributi di impedenza trasportistica sono in genere estremamente semplificati ed in molti casi sostituiti con la sola distanza in linea d'aria tra le zone come proxy del costo generalizzato di trasporto: ovviamente ciò rende tali modelli non utili per applicazioni a fini trasportistici. In tal senso, i modelli più avanzati dal punto di vista trasportistico sono quelli di Kepaptsoglou et al. (2009) e quello utilizzato nell'ambito del sistema TRANSTOOLS;
- gli attributi di impedenza economica e doganale sono variamente espressi, in genere si utilizzano valori quantitativi dei dazi e delle tariffe doganali per unità di merce importata;
- le dummy utilizzate sono numerosissime, possono essere legate come visto all'origine,

⁵¹ Un aspetto importante nell'utilizzo del Prodotto Interno Lordo come variabile esplicativa di un modello gravitazionale è la valutazione di quale tipologia di PIL viene usata. In particolare, è di solito disponibile un PIL a *prezzi costanti*, ovvero calcolato assumendo un anno base di riferimento (di solito il 2000) e rapportando il valore del PIL a quell'anno, neutralizzando dunque gli effetti inflazionistici e di cambio. Viceversa, è anche disponibile un PIL a *prezzi correnti*, che viene invece calcolato con riferimento al valore della valuta nell'anno corrente cui si riferisce. Entrambi forniscono in genere risultati confrontabili, occorre però indicare chiaramente quale PIL si è utilizzato in modo da interpretare correttamente le elasticità del modello.

alla destinazione o ad entrambe, ed in linea di massima sono rappresentative di:

- legami di carattere politico, storico e culturale (ad esempio lingua comune, passato coloniale);
- relazioni economiche consolidate (ad esempio accordi di natura commerciale e di libero scambio, appartenenza comune a organismi sovranazionali)
- caratteristiche geografiche specifiche (ad esempio isole, confine in comune, mancanza di sbocco al mare)

È poi fondamentale evidenziare che nella pratica la calibrazione dei coefficienti del modello nella forma (3.8) si presenta laboriosa e comunque non direttamente risolvibile con le normali tecniche statistiche implementate nei più comuni pacchetti software. A ciò si può ovviare semplicemente passando al logaritmo di ambo i membri della (3.8), ottenendo la ben nota espressione log-lineare del modello gravitazionale:

$$\ln d_{od}^{mt} = \ln \beta_0^m + \beta_1^m \ln M_o^{mt} + \beta_2^m \ln M_d^{mt} + \beta_3^m \ln TC_{od}^{mt} + \beta_4^m \ln TD_{od}^{mt} + \beta_5^m \ln \delta_o^{mt} + \beta_6^m \ln \delta_d^{mt} + \beta_7^m \ln \delta_{od}^{mt} + \mu_{od}^{mt} \quad (3.9)$$

nella quale $\mu_{od}^{mt} = \ln \varepsilon_{od}^{mt}$. Il modello può quindi essere calibrato con le normali tecniche adottate per le regressioni lineari. Il modello gravitazionale (3.8) o (3.9) è anche noto in letteratura come modello ad *elasticità costante*. Infatti, esso può essere formalmente scritto come $d_{od} = k \cdot \prod_i x_i^{\beta_i}$ e dalla definizione di elasticità puntuale diretta segue:

$$E_{x_i} = \frac{\partial d_{od}}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{d_{od}} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \cdot \prod_i x_i^{\beta_i} \right) \cdot \frac{x_i}{d_{od}} = k \cdot \beta_i \cdot x_i^{\beta_i-1} \prod_{j \neq i} x_j^{\beta_j} \cdot \frac{x_i}{k \cdot \prod_i x_i^{\beta_i}} = \beta_i \quad (3.10)$$

I coefficienti della (3.9) godono dunque di una immediata interpretazione fisica.

Una ulteriore fondamentale classificazione dei modelli gravitazionali rilevata dalla letteratura tecnica si riferisce alla tecnica di calibrazione adottata per la stima dei coefficienti. In generale, infatti, il database di calibrazione del modello gravitazionale si caratterizza per due diverse dimensioni: la prima, di carattere geografico, si riferisce alle diverse coppie o-d; la seconda, di carattere temporale, si riferisce alla disponibilità di dati di flusso per la stessa coppia o-d relativamente a diversi istanti temporali. Infine, occorre anche considerare che nelle applicazioni della presente ricerca vi è una terza dimensione, che tiene conto del fatto

che per una stessa coppia o-d e per uno stesso anno vi sono dati relativi a diverse categorie merceologiche. La struttura formale complessiva del database di calibrazione è riportata nella seguente Figura 41.

OD pair	year	Trade flow	variable_1	...	variable_n
1	1992	...	...	...	...
...
1	2008	...	...	...	...
...
n	1992	...	...	...	...
...
n	2008	...	...	...	...

Figura 41 – Struttura formale del database di calibrazione del modello gravitazionale

Si pone dunque il problema di individuare la tecnica di calibrazione più opportuna per il modello (3.9) in presenza di un database del tipo riportato in Figura 41.

L'ipotesi più semplice prevede di considerare tutti i residui μ_{od}^{mt} identicamente e indipendentemente distribuiti qualsiasi siano la coppia *o-d*, il tempo *t* e la merceologia *m*, ovvero di non tener conto in alcun modo delle dimensioni precedentemente descritte: in questo caso, si può effettuare una tradizionale calibrazione con il metodo standard dei minimi quadrati (OLS, *ordinary least squares*). In particolare, la calibrazione riguarda di solito una data merceologia *m*, per la quale viene calibrato un modello di tipo (3.9) su tutte le coppie *o-d* non riconoscendo la natura temporale ripetuta delle osservazioni: per questo motivo si parla di calibrazione con approccio *cross sectional*.

In alternativa, si può tener conto della struttura temporale del database, riconoscendo che per una data *o-d* e una data merceologia *m* i residui μ_{od}^{mt} possono essere studiati con le normali tecniche di analisi delle serie temporali (*time series*).

I due approcci precedenti si possono poi combinare in modo da tener conto contemporaneamente di entrambe le dimensioni *cross sectional* e *time series*, adottando quindi tecniche di calibrazione di tipo *panel data*. In questo ambito, si possono adottare due

tecniche. La prima introduce nella (3.9) delle costanti specifiche α_{od}^m per coppia $o-d$ (non dipendenti dal tempo t), α^{mt} per istante temporale t (non dipendenti dalla coppia $o-d$) e α_{od}^{mt} per coppia $o-d$ e per istante temporale t : tale approccio viene detto di tipo *fixed effects*, perché per l'appunto la natura panel data del campione di calibrazione viene catturata con termini costanti aggiuntivi rispetto alla specificazione base (3.9). In particolare, se è presente uno solo dei termini aggiuntivi (cioè solo quelli del tipo α_{od}^m oppure α^{mt}) si parla di *one-way fixed effects*, mentre se sono presenti entrambi si parla di *two-way fixed effects*. La seconda scompone il residuo aleatorio μ_{od}^{mt} nel seguente modo:

$$\mu_{od}^{mt} = \varepsilon_{od}^m + \varepsilon^{mt} + \varepsilon_{od}^{mt} \quad (3.11)$$

in maniera tale da indurre una correlazione tra coppie $o-d$ a parità di istante temporale (grazie alla condivisione di ε^{mt}) e tra istanti temporali a parità di coppia $o-d$ (grazie alla condivisione di ε_{od}^m): tale approccio viene detto, per differenziarlo dal precedente, *random effects* perché introduce esplicitamente correlazioni a livello di residui.

Le analisi di tipo panel data sono naturalmente più complete rispetto agli approcci di tipo cross sectional o time series (Washington et al., 2003), a prezzo di un maggior onere di implementazione soprattutto nell'approccio di tipo random effects. In ogni caso, a valle della calibrazione esistono opportuni test di ipotesi che consentono di verificare se effettivamente una o entrambe le dimensioni siano statisticamente significative così da poter semplificare il modello in caso di esito negativo dei test. Va detto che, ai fini della presente ricerca, l'utilizzo di tecniche panel data appare prospetticamente necessario in virtù della variabilità temporale degli attributi esplicativi e della presenza di dummy specifiche per coppia $o-d$ e per anno⁵².

Infine, un ultimo livello di generalizzazione della (3.9) si riferisce alla presenza di una ulteriore dimensione legata alla categoria merceologica m . Infatti, l'approccio panel data descritto in precedenza si applica in generale in maniera indipendente per ciascuna merceologia, mentre nella realtà si può immaginare che accada il contrario: ad esempio, se una coppia $o-d$ si scambia quantità notevoli di una certa merceologia con un trend crescente nel tempo, è ragionevole presumere che tale trend positivo si osservi anche per altre

⁵² Ad esempio, le masse cambiano (il PIL evolve ogni anno), anche le impedenze trasportistiche possono cambiare se nel modello di offerta descritto nel Capitolo 2 si aggiornano ad esempio i costi di carburante, le tariffe, le infrastrutture, i servizi e così via. Anche le dummy sono soggette a cambiamenti: si pensi ad esempio ad un accordo commerciale che entra in forza da un certo anno in poi.

merceologie nell'ambito della stessa o-d. Per tener conto di ciò si può utilizzare una tecnica statistica che consente di calibrare sistemi di equazioni di tipo (3.9) su database panel data: tale tecnica è detta calibrazione SURE (*seemingly unrelated equation estimation*), introdotta da Zellner (1962) e applicata al caso panel data da Wan et al. (1992).

Guardando alla frequenza di utilizzo degli approcci di calibrazione nella letteratura tecnica, il modello gravitazionale (3.9) è stato calibrato ed applicato, con buoni risultati in termini di riproduzione del campione, fino agli anni ottanta con riferimento a basi dati di tipo cross sectional. Le prime analisi che hanno tenuto conto della dinamica temporale, da Aitken (1973) fino a Frankel (1997), hanno osservato una variazione temporale significativa dei coefficienti del modello, in particolare per quanto riguardava le variabili dummy relative ad accordi commerciali e di zone di libero scambio. Solo negli ultimi anni si è passati ad una interpretazione del fenomeno come processo dinamico in cui vengono considerati fattori di inerzia e ritardi temporali sugli effetti di variazioni di variabili esplicative. Infine, a partire dai primi anni 2000 si è cominciato ad utilizzare intensivamente le tecniche panel data, ad esempio a partire da Bun and Klaassen (2002) e Glick and Rose (2002). I panel data sono stati utilizzati negli ultimi anni in molti studi e solo pochi lavori, ormai, mostrano risultati basati su dati cross sectional basati su un singolo anno o sulla media di un periodo. Di seguito si riporta in Tabella 20 una sintesi di stato dell'arte di alcune formulazioni di modelli gravitazionali presenti in letteratura, differenziati per tipo di database di calibrazione e per approccio utilizzato nella specificazione e nella calibrazione del modello.

autore/i	anno	dataset			modello		
		copertura	tempo	tipo	flussi	regressori	calibrazione
Kalirajan	1999	Australia e partner commerciali nell'Oceano Indiano	1990-1994	PD	E	PIL, PIL pro capite, distanza	RE
Endoh	1999	membri EEC, LAFTA e CMEA	1960-1994	PD	E	PIL, popolazione, distanza, lingua comune, flussi intra-membri, inter-membri e non-members	OLS
Breuss and Egger	1999	Nazioni OECD	1990-1994	CS	E	PIL pro capite, popolazione, distanza, lingua comune, appartenenza EU12 e NAFTA	OLS
Rose	2000	186 Nazioni	1970, 1975, 1980, 1985, 1990	PD	E	PIL, PIL pro capite, distanza, confini comuni, lingua comune, FTA, moneta comune, accordi bilaterali di scambio	OLS
Arghyriou	2000	Grecia e maggiori partner commerciali	medie 1970-1980, 1981-1992	PD	I/E	PIL, Pre-Post integrazione EU, tasso d cambio, politiche monetarie	OLS

Nitsch	2000	UE12	1979-1990	PD	E	PIL, distanza, confini comuni, lingua comune	FE
Buch and Piazzolo	2001	9 Stati OECD e partner	1998	CS	I/E	PIL pro capite, distanza appartenenza EU	OLS
Feenstra et al.	2001	110 Stati	1970, 1975, 1980, 1985, 1990	CS	E	PIL, distanza, confini comuni, lingua comune, esistenza di accordi commerciali	OLS
Porojan	2001	Unione Europea a 15 Stati e 7 Nazioni OECD	1995	CS	I/E	PIL pro capite, distanza, appartenenza EU ed NAFTA , contiguità	TS
Sapir	2001	16 Nazioni dell'Europa Occidentale	1960-1992	CS	E	PIL,distanza, lingua comune, appartenenza EU e EFTA	OLS
Egger	2002	Stati OECD e 10 Nazione dell'Europa Centro-Orientale	1986-1997	PD	E	PIL , PIL pro capite, dimensione della Nazione, leggi sull'esportazione ed importazione, tasso di cambio, distanza, confini comuni e lingua comune	FE e RE
Glick and Rose	2002	217 Stati	1948-1997	PD	E	distanza, PIL e PIL pro capite, confine comuni, esistenza di accordi commerciali, accesso al mare, colonizzatori comuni	FE
Fukao et al.	2003	Stati membri NAFTA	1992-1998	PD	I	PIL pro capite, tariffe, fattori specifici per Nazione	FE
Baltagi et al.	2003	Unione Europea a 15 Stati, USA, Giappone	1986-1997	PD	E	PIL ,PIL pro capite dimensione della nazione distanza	FE
Kangas and Niskanen	2003	Unione Europea a 15 Stati	1998	CS	E	PIL ,PIL pro capite, distanza, confine comuni.	OLS
Filippini and Molini	2003	Unione Europea, USA, Giappone, Cina, 6 Stati Asiatici e 6 dell' America Latina	1970-2000	PD	E	Esportazioni passate,PIL, popolazione, distanza, differenze tecnologiche	FE
Kurihara	2002	17 Stati APEC	1980, 1985, 1990, 1995, 1998	PD	E	Esportazioni passate, tasso di cambio, PIL ,PIL pro capite distanza, lingua comune, FTA, colonizzazione	OLS
Wilson et al.	2003	Stati APEC	1989-2000	PD	E	PIL ,PIL pro capite, distanza, appartenenza NAFTA, ASEAN, LAIA, lingua, confini comuni, tariffa, efficienza dei porti, ambiente commerciale e regolamentare, e-business	FE
Egger	2004	Stati OECD	1986-1997	PD	E	PIL , somiglianza della struttura economica, rapporto risorse capitale/forza lavoro, rapporto forza lavoro altamente e bassamente specializzato/costi di trasporto, attuabilità di accordi di inport/export, EU, EFTA and NAFTA	FE e RE
Gopinath and Echeverria	2004	sei Nazioni	1989-1998	PD	TOT ₁	PIL, PIL pro capite, popolazione, distanza, EU	FE
Pelletiere and Reinert	2004	USA e 113 Nazioni	1998-2000	PD	E	PIL, popolazione,distanza, guida a destra, misure di protezione, tariffe per auto nuove ed usate	OLS

Longo and Sekkat	2004	41 Stati Africani e 15 del mondo industrializzato	1988-1997	PD	E	PIL, PIL pro capite, superficie nazionale, confini comuni, distanza, accesso al mare, lunghezza rete stradale pro capite, telefoni pro capite, indicatori di stabilità politica, esportazioni di petrolio, partecipazioni FTA	OLS
Roberts	2004	Cina e Paesi Asiatici	1996	CS	E	PIL, PIL pro capite, distanza, FTA	OLS
Augier et al.	2005	38 Nazioni (EU e partner)	1992-1995	CS	E	PIL, popolazione, distanza, appartenenza FTA, appartenenza EU, confine e lingua comune,	FE
Musila	2005	20 Nazioni Africane	1991-1998	CS	E	PIL, popolazione, distanza, confine e lingua comune, intra COMESA, ECCAS, ECOWAS, Extra COMESA, ECCAS, ECOWAS, esportazioni, importazioni	OLS
Sohn	2005	Corea and 30 partner commerciali	1995	CS	TOT	PIL, PIL pro capite, distanza, appartenenza APEC	OLS
Martinez-Zarzoso and Suarez-Burguet	2005	EU e 5 Nazioni dell'America Latina		PD	I/E	PIL, PIL pro capite, costi di trasporto in funzione del rapporto peso/valore, distanza, volume degli imports e degli exports, accesso al mare, lingua, caratteristiche dei porti e delle infrastrutture di trasporto	FE
Paas and Tafenau	2005	Unione Europea a 25 Stati	1993-2002	PD	E	Popolazione, PIL, distanza, appartenenza EU, Nazioni ex Socialiste, presenza di confini terrestri, Stati del mar Baltico Centroeuropei, Meditermaei	OLS
Tang	2005	21 Stati NAFTA, ANZCER, ASEAN	1989-2000	PD	E	PIL, PIL pro capite, distanza, volatility of exchange rate, income similarity, Nazione sviluppata e non sviluppata, appartenenza NAFTA per uno o entrambi i partner, appartenenza ANZCER per uno o entrambi i partner, appartenenza ASEAN per uno o entrambi i partner	RE
Thorpe and Zhang	2005	Nazioni Est Asiatico	1970-1996	PD	TOT ₁	PIL, differenze nel PIL pro capite, distanza, tasso di cambio, sbilanciamento commerciale.	OLS
Péridy	2005	5 Stati MENA and 42 partner principali	1975-2001	PD	E	PIL, distanza, FTA, confine e lingua comune.	RE
Kandogan	2005	Unione Europea	1999-2000	CS	I	PIL, distanza, pro capite PIL, real exchange rates, foreign currency reserves, similarity in economic sizes, relative factor endowments	FE
Péridy	2005	Stati del Mediterraneo e 42 partners	1975-2001	PD	E	PIL pro capite, PIL, somiglianza in dimensione, distanza, lingua, tipologia di confine	FE e RE
Antonucci and Manzocchi	2006	Turchia e partner commerciali	1967-2001	PD	E	PIL, misure di somiglianza, fattore di dotazione relativa, appartenenza EU, esistenza di accordi FTA, distanza, tipo di confine (marittimo o terrestre)	FE
Carrère	2006	130 Nazioni	1962-1996	PD	E	PIL, PIL pro capite, popolazione, distanza, confine comuni, accesso al mare livello di infrastrutturazione, dummies per FTAs	FE

Kucera and Sarna	2006	162 Nazioni	medie sul periodo 1993-1999	CS	E	PIL pro capite, popolazione, distanza, superficie, confine comune, accesso al mare, isole, FTA, tasso di cambio	OLS
Kang and Fratianni	2006	OECD and non-OECD	1980-2003	PD	E	PIL, PIL pro capite, moneta comune, distanza, confine e lingua comune, relazioni coloniali, appartenenza OECD	OLS
Elliot	2007	Barbados, Jamaica, Trinidad and Tobago	1968-2001 e 1969-2003	PD	I/E	Popolazione, distanza, appartenenza CARICOM	OLS
Kalirajan	2007	Australia e membri IOR-ARC	1992-1996 e 1999-2002	PD	E	PIL, PIL pro capite, popolazione, distanza, appartenenza APEC	RE
Lee and Park	2007	50 Stati	1994-1999	PD	TOT	PIL, PIL pro capite, distanza, superficie territoriale, confine comune, lingua comune, colonizzatori comuni, moneta comune, tariffe doganali, agevolazioni al commercio, FTA	FE e RE
Bun and Klaassen	2007	EU-15, Norvegia, Svizzera, Canada, Giappone e USA	1967-2002	PD	TOT	PIL, PIL pro capite, FTA, Euro	FE
Iwanow and Kirkpatrick	2007	78 Stati	2000-2004	PD	E	PIL, PIL pro capite, popolazione, distanza, tariffe doganali, lingua comune, confine comune, status di colonia (presente o passato), FTA, qualità delle infrastrutture	FE
Nowak-Lehmann et al.	2007	Turchia e 10 membri dell'Unione Europea	1998-2002	PD	E	PIL, PIL pro capite, tasso di cambio, costi di trasporto	FE
Kepaptsoglou et al.	2009	20 macroaree nell'area Euro-Mediterranea	1990-2008	PD	I/E	<i>vedi (3.12)</i>	FE, RE, SURE
Gallo et al.	2012	Italia e Cina	2000-2008	PD	I/E		FE, SURE

LEGENDA: PD *panel data*, CS *cross sectional*; E *export*, I *import*, I/E *import e export*, TOT *totale*; OLS *minimi quadrati*, FE *fixed effects*, RE *random effects*, TS *time series*, SURE *seemingly unrelated regression equations*.

¹ Utilizzano in realtà indici di commercio internazionale basati sul totale degli scambi.

Tabella 20 – Riepilogo stato dell'arte sui modelli gravitazionali

In generale, i flussi delle esportazioni e di scambio bilaterale rappresentano le più comuni variabili dipendenti. A volte sono calibrati modelli separati per ciascuna direzione (molto spesso solo per le esportazioni), a volte si calibrano modelli uguali per l'import e per l'export; più raramente si riproduce il flusso di scambio totale (somma di import e export) o indicatori aggregati della propensione al commercio internazionale.

Per quanto riguarda le variabili esplicative, gli attributi di massa più comuni sono le misure di capacità economica dei Paesi: prodotto interno lordo, numerosità della popolazione, superficie del paese. In particolare, il PIL pro capite indica il potere d'acquisto dei paesi

importatori ed esportatori e, come riportato da Sohn (2005) e Bergstrad (1985), due Paesi con popolazione notevolmente differente potrebbero avere PIL simili ma sviluppo economico completamente diverso. In alternativa, alcune specificazioni a partire da Helpman (1987) includono la similarità di dimensione (capacità, condizione industriale e produttiva) come attributo di massa. Inoltre, spesso i volumi di import ed export sono inclusi in maniera diretta come variabili di massa (Fukao et al., 2003; Musila, 2005), oppure utilizzati per introdurre variabili complementari: Sohn (2005) introduce l'indice di conformità degli scambi merci (TCI) che rispecchia la complementarietà nelle quote di import e di export, Péridy (2005) utilizza l'indice di posizione commerciale (ITP) legato alla quota di mercato in confronto al resto del mondo, Thorpe e Zhang (2005) fanno riferimento infine allo squilibrio commerciale di un Paese, ottenuto come differenza fra l'import e l'export.

I fattori di impedenza includono, come detto in precedenza, tutti gli elementi che influiscono sui flussi commerciali merci. I costi di trasporto ne rappresentano l'elemento principale, e possono essere inclusi nelle specificazioni o come costi effettivi di trasporto merci oppure attraverso variabili quali/qualitative legate alla dotazione infrastrutturale. Un'analisi in tal senso è riportata da Martinez-Zarzoso e Suarez-Burguet (2005). Tipicamente, tuttavia, le impedenze sono approssimate mediante la distanza tra i baricentri economici delle regioni interessate dallo scambio commerciale, valutate come distanza ortodromica o mediante metodi più dettagliati (Nitsch, 2000). Un elemento che influenza indirettamente i costi di trasporto è rappresentato dal livello di operatività dei servizi di un dato Paese; a tal proposito, Wilson et al. (2003) introducono indicatori appropriati per includere l'efficienza dei porti, le condizioni doganali, l'esistenza di e-business e la situazione normativa dei Paesi di origine e di destinazione. Longo e Sekkat (2004) includono anche variabili legate alla lunghezza complessiva della rete stradale e al numero di telefoni procapite quale proxy della dotazione tecnologica. Allo stesso modo, Filippini e Molini (2003) introducono il concetto di distanza tecnologica tra i Paesi di origine e di destinazione, basandosi su un indicatore proposto da Archibugi e Cogo (2002). Sono invece relativamente pochi gli studi che introducono esplicitamente le tariffe e i dazi doganali come fattori di impedenza, tra questi vale la pena ricordare Fukao et al. (2003), Wilson et al. (2003), Pelletiere and Reinert (2004), Lee e Park (2007) e Kepaptsoglou et al. (2009). Infine, è interessante sottolineare che una variabile di impedenza presa a volte in considerazione riguarda i tassi di cambio valutario tra i Paesi di origine e destinazione (ovviamente se non adottano la stessa moneta), poiché ci si aspetta che eventuali variazioni di tali tassi nel tempo influenzino l'entità dei flussi merci:

studi rilevanti in tal senso sono stati condotti da Rose (2000), Argyrou (2000), Egger (2002), Thorpe e Zhang (2005), Kandogan (2005), Carrere (2006) e Kucera e Sarna (2006).

Infine, come riportato nella Tabella 20, sono numerose e di vario tipo le dummy utilizzate nelle specificazioni.

A margine di questo stato dell'arte si riportano di seguito le specificazioni dei due modelli gravitazionali disponibili in letteratura che interessano più da vicino l'area di studio della presente ricerca (Figura 16). La prima è dovuta a Kepaptsoglou et al (2009), con un modello gravitazionale calibrato per cinque macrocategorie merceologiche (aggregazione di classi NST/R a 1 cifra) e 21 macroaree nel bacino Euro-Mediterraneo, finalizzato alla valutazione degli effetti di accordi per la creazione di zone di libero scambio; tale modello è inoltre uno dei primi ad introdurre esplicitamente attributi di livello di servizio calcolati con un modello di offerta di trasporto merci⁵³. La specificazione del modello è la seguente (direttamente in forma log-lineare del tipo (3.9)):

$$\ln F_{odmt} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln TE_{omt} + \alpha_2 \ln TI_{dmt} + \alpha_3 TF_{odmt} + \alpha_4 TC_{odmt} + \alpha_5 GAFTA_{odt} + \alpha_6 AGADIR_{odt} + \alpha_7 EU_{odt} + \alpha_8 EMFTA_{odt} \quad (3.12)$$

nella quale F_{odmt} è il flusso relativo alla merceologia m all'anno t per la coppia $o-d$, TE_{omt} e TI_{dmt} rispettivamente le esportazioni totali della zona o e le importazioni totali della zona d all'anno t per la merceologia m , TF_{odmt} le tariffe/dazi doganali tra o e d per la merceologia m all'anno t , TC_{odmt} i costi di trasporto tra o e d per la merceologia m all'anno t , e le dummy $GAFTA_{odt}$, $AGADIR_{odt}$, EU_{odt} e $EMFTA_{odt}$ valgono 1 se la coppia $o-d$ appartiene al relativo accordo commerciale⁵⁴ all'anno t e zero in caso contrario. In questo modo, la presenza di eventuali accordi commerciali entra nel modello attraverso sia una riduzione (o totale abolizione) delle tariffe TF_{odmt} in maniera differenziata per categoria, sia l'inserimento ad 1 della corrispondente dummy di accordo commerciale. Va poi precisato che essendo il modello di natura descrittiva e teso a cogliere in maniera macroscopica il fenomeno, gli autori non si preoccupano della congruenza tra totali di import/export inseriti come dati di input e quelli ottenibili come aggregazione sulle origini o sulle destinazioni dei dati di output; risulta

⁵³ In parte, tali attributi sono stati calcolati a cura del Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti "L. Tocchetti" utilizzando una versione preliminare e parziale di un modello di offerta di trasporto merci a scala Euro-Mediterranea (con disaggregazione a livello NUTS1/NUTS2) che ha rappresentato poi il punto di partenza del modello sviluppato nell'ambito della presente ricerca.

⁵⁴ Gli accordi sono in dettaglio la Greater Arab Free Trade Area (GAFTA), l'Agadir agreement (AGADIR), l'Unione Europea (EU) e la Euro-Mediterranean Free Trade Area (EMFTA). In quest'ultimo caso gli autori fanno riferimento alla data di sottoscrizione degli accordi di Barcellona del 1995.

tuttavia evidente che volendo imporre tale congruenza il modello verrebbe a configurarsi con una struttura di punto fisso. Il modello in questione è stato calibrato utilizzando i dati relativi ai flussi di scambio realizzatisi nel periodo 1992-2006 tra le 21 macroaree dell'area EMFTA, adottando una tecnica di calibrazione SURE panel data.

Il secondo modello meritevole di menzione è quello sviluppato nell'ambito di TRANSTOOLS (2009), che è stato calibrato per 187 Paesi del mondo stimandone i traffici annuali totali in valore, e successivamente adottando una disaggregazione per l'area Euro-Mediterranea basata su coefficienti di trasformazione valore-quantità e su coefficienti che indicano il peso di ciascuna merceologia sul totale. La specificazione del modello è la seguente:

$$\ln F_{odt} = \alpha_{ot} TE_{ot} + \alpha_{dt} TI_{dt} + \alpha_3 d_{od} + \alpha_5 CB_{od} + \alpha_6 LA_{od} + \sum_k \alpha_k FTA_{odt}^k \quad (3.13)$$

nella quale F_{odt} è il flusso in valore tra o e d all'anno t , TE_{ot} e TI_{dt} sono rispettivamente il totale delle esportazioni e delle importazioni in valore di o e di d nell'anno t , d_{od} la distanza in linea d'aria tra o e d , CB_{od} una dummy che vale 1 se o e d hanno un confine in comune, LA_{od} una dummy che vale 1 se o e d hanno la stessa lingua e FTA_{odt}^k una generica dummy che vale 1 se o e d condividono l'accordo commerciale k all'anno t . Come si può notare, si tratta di una specificazione parzialmente log-lineare, con una rappresentazione molto semplificata del fenomeno in termini sia di impatti degli accordi commerciali sia di rappresentazione del sistema di trasporto. In particolare, e questo è un aspetto fondamentale per le applicazioni del Capitolo 4, la presenza di una distanza in linea d'aria tra o e d rende il modello rigido rispetto a variazioni del sistema di offerta di trasporto merci, e dunque non può in alcun modo cogliere gli effetti di domanda generata ad esempio da nuovi servizi marittimi.

3.3.3 Specificazione e calibrazione del modello gravitazionale

A valle delle considerazioni riportate nei paragrafi precedenti, si è deciso di specificare e calibrare un modello gravitazionale log-lineare per la stima dei flussi merci tra le zone dell'area di studio di Figura 16. Innanzitutto, considerando i dati di domanda disponibili per la calibrazione del modello (paragrafo 3.2.1), si è deciso di procedere assumendo come generica origine e destinazione il singolo Paese ricadente nell'area di studio, per un totale quindi di 57 zone; successivamente si procederà alla disaggregazione di tali flussi tra Paesi in flussi tra zone dell'area di studio attraverso opportuni modelli (paragrafo 3.4). Inoltre, si è ritenuto

opportuno adottare come variabile dipendente direttamente i flussi in quantità, per evitare complicazioni applicative nell'utilizzo dei coefficienti di trasformazione valore/quantità; tali flussi sono riprodotti considerando diverse categorie merceologiche, così da riprodurre correttamente le diverse elasticità della domanda. A tal fine, si è adottata la classificazione riportata nella seguente Tabella 21, che si riferisce alla nomenclatura SITC3 a 1 cifra, disponibile in tutti i database riportati nel paragrafo 3.2.1.

0	Agricultural products and live animals
1	Foodstuffs and animal fodder
2	Solid mineral fuels
3	Petroleum products
4	Ores and metal waste
5	Metal products
6	Crude and manufactured minerals, building materials
7	Fertilizers
8	Chemicals
9	Machinery, transport equipment, manufactured articles and miscellaneous articles

Tabella 21 - Categorie merceologiche per il modello gravitazionale (fonte: EUROSTAT RAMON)

Ciò premesso, la specificazione del modello implementato nella presente ricerca è la seguente:

$$\begin{aligned} \ln F_{odmt} = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln TE_{omt} + \alpha_2 \ln TI_{dmt} + \alpha_3 TF_{odmt} + \alpha_4 TC_{odm} + \alpha_5 GAFTA_{odt} + \\ & + \alpha_6 AGADIR_{odt} + \alpha_7 EU_{odt} + \alpha_8 EMFTA_{odt} + \alpha_9 LO_o + \alpha_{10} LO_d + \alpha_{11} CB_{odt} + \\ & + \alpha_{12} ISR_{od} + \alpha_{13} MED_o + \alpha_{14} MED_d + \alpha_{15} NOEU15_{odt} \end{aligned} \quad (3.14)$$

nella quale i pedici m e t denotano rispettivamente la categoria merceologica e l'anno, TE_{omt} e TI_{dmt} sono il totale delle esportazioni di o e delle importazioni di d rispettivamente, TF_{odmt} i dazi doganali e le tariffe tra o e d , TC_{odm} i costi di trasporto tra o e d , $GAFTA_{odt}$, $AGADIR_{odt}$, EU_{odt} , $EMFTA_{odt}$ delle dummy analoghe al modello di Kepaptsoglou et al. (2009), LO_o e LO_d dummy che valgono 1 rispettivamente se l'origine o la destinazione non hanno sbocco sul mare, CB_{odt} una dummy che vale 1 se o e d hanno un confine in comune, ISR_{od} una dummy che vale 1 se l'origine o la destinazione è Israele, MED_o e MED_d dummy che valgono 1 rispettivamente se l'origine o la destinazione hanno almeno uno sbocco nel Mediterraneo e $NOEU15_{odt}$ vale 1 se la coppia o-d non appartiene all'Unione Europea a 15.

La calibrazione è stata effettuata con una tecnica panel data SURE, utilizzando un database di calibrazione relativo al periodo 1990-2008. In questo modo si è coperto un orizzonte

temporale sufficiente per rappresentare gli effetti dei diversi accordi di libero scambio intercorsi nel frattempo nel Mediterraneo e tale comunque da tener conto di effetti economici di crescita e di crisi (cicli negativi del 2002 e del 2005); i dati relativi alla recessione degli ultimi quattro anni sono invece ancora non consolidati e quindi non utilizzabili correttamente ai fini della calibrazione.

L'effettiva calibrazione del modello (3.14) richiede la predisposizione di un opportuno database di calibrazione. In esso, la variabile dipendente è stata desunta direttamente dalle fonti dati descritte nel paragrafo 3.2.1, mentre per le variabili esplicative si sono utilizzate differenti fonti dati di seguito descritte.

Per quanto riguarda le variabili di massa, anche i valori totali di import ed export per ogni anno sono stati direttamente desunti dalle fonti dati del paragrafo 3.2.1. Inoltre, nella fase di calibrazione si è comunque testata la significatività del PIL, determinato da base EUROSTAT per i Paesi dell'Unione Europea e da fonti AMF (Arab Monetary Fund) e WTO (World Trade Organization) per i rimanenti Paesi. I dati di PIL provenienti dalle diverse fonti sono stati armonizzati in US\$ a prezzi costanti con anno base 2000.

I costi di trasporto sono stati ovviamente calcolati col modello di offerta implementato come descritto nel capitolo 2: a tal proposito, è stato preso in considerazione per ciascuna coppia o-d il costo generalizzato di trasporto del minimo percorso su rete multimodale, relativamente alla spedizione tipo di un carico completo per un autoarticolato. In alternativa, si sarebbe potuto prendere in considerazione anche la logsum della scelta modale relativa alla coppia o-d, calcolata utilizzando il modello di scelta modale descritto nel paragrafo 3.5: ciò avrebbe portato però ad una eccessiva rigidità del modello gravitazionale rispetto agli attributi di livello di servizio del sistema di trasporto, e pertanto tale scelta non è stata effettuata. Ovviamente, poiché il modello di offerta descritto si applica a ciascuna coppia di zone NUTS3 dell'area di studio, mentre il modello gravitazionale (3.14) agisce a livello di Paese, si è proceduto a calcolare un costo generalizzato medio tra Paesi a partire da quello tra zone nel seguente modo:

$$C_{P_o P_d}^{mt} = \frac{\sum_{o \in P_o} \sum_{d \in P_d} d_{od}^{mt} c_{od}^{mt}}{\sum_{o \in P_o} \sum_{d \in P_d} d_{od}^{mt}} \quad (3.15)$$

dove con P_o e P_d sono stati indicati i Paesi di origine e di destinazione rispettivamente, e d_{od}^{mt}

e c_{od}^{mt} sono rispettivamente la domanda e il costo generalizzato di trasporto per la merceologia m all'anno t tra le generiche zone NUTS3 o e d appartenenti rispettivamente a P_o e P_d . In altre parole, si calcola un costo generalizzato medio per coppie di Paesi come media pesata sulla domanda dei costi generalizzati tra le zone NUTS3 di tali Paesi.

Per quanto attiene invece al calcolo delle tariffe e dei dazi doganali, si è fatto riferimento al database UNCTAD TRAINS, che registra a livello annuale e per diverse merceologie tre diversi tipi di valori di tariffe e dazi doganali:

- MFN (*most favoured nations*): sono le tariffe/dazi nominali applicati dai Paesi membri del WTO a tutti gli altri, a meno che non siano in vigore accordi commerciali particolari;
- PRF (*preferential rates*): sono le tariffe/dazi nominali tra Paesi WTO per i quali siano in forza accordi commerciali. Per definizione, esse risultano minori delle corrispondenti tariffe MFN;
- AHS (*effectively applied tariffs*): sono le tariffe/dazi effettivamente praticati tra Paesi WTO, di solito risultano minori o uguali delle corrispondenti tariffe MFN e PRF (dove presenti).

Le tariffe/dazi possono essere espressi a loro volta secondo diverse unità di misura:

- in percentuale fissa rispetto al valore del bene importato (*ad valorem*);
- come prima, ma con una percentuale a soglia, ovvero nessuna tariffa fino ad un dato valore di importazione e poi una percentuale di valore crescente al di là di tale soglia;
- in percentuale fissa o variabile rispetto alla quantità importata, calcolata in vari modi (ad esempio sul peso lordo o netto, sul numero di pezzi, ecc...).

Nella pratica, per consentire una più agevole interpretazione ed utilizzo dei dati, il database TRAINS riporta per ciascuna delle tre tipologie di tariffe elencate in precedenza un dato equivalente approssimato di tariffa espressa in percentuale fissa sul valore del bene, detta *ad valorem equivalent* (AVE). Nel database di calibrazione si è quindi deciso di includere le tariffe AHS espresse col metodo AVE. Da un punto di vista operativo, inoltre, si è dovuto tener conto che le tariffe sono espresse per migliaia di categorie merceologiche diverse, mentre nel database occorre implementarle con riferimento alle categorie merceologiche

riportate in Tabella 21: a tal fine, si è utilizzata una media pesata dei valori per singola categoria sulla domanda scambiata per quella categoria stessa.

Per quanto riguarda le dummy, la loro determinazione è stata immediata per quanto riguarda quelle relative a caratteristiche geografiche, mentre per quelle relative agli accordi commerciali si è fatto riferimento alla data di effettiva entrata in vigore degli accordi stessi rilevata da fonti ufficiali per porre le corrispondenti dummy uguali ad 1.

Con riferimento alla calibrazione, considerando quanto riportato nel paragrafo 3.3.2, si sono testate diverse tecniche statistiche utilizzando il software di calibrazione STATA⁵⁵: quella rivelatasi statisticamente migliore è stata la panel data di tipo random effects senza considerare possibile correlazione tra le merceologie. I risultati di calibrazione sono riportati nella seguente Tabella 22 insieme ai valori di significatività dei parametri.

Variable	Commodity class (SITC 1-digit nomenclature)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
masseor	0.813 93.53	0.344 97.05	0.434 76.05	0.499 169.95	0.234 19.61	0.778 403.58	0.819 168.55	0.742 119.86	0.605 105.1	0.150 25.2
massedest	0.467 95.27	0.219 48.1	0.679 133.97	0.399 94.01	0.225 12.03	0.570 87.87	0.816 124.18	0.774 115.3	0.825 217.89	0.351 42.04
transporttime	-0.771 -55.36	-1.161 -117.25	-0.866 -63.4	-0.396 -22.59	-1.116 -22.4	-1.150 -106.86	-1.066 -100.35	-1.114 -89.98	-1.371 -104.05	-1.034 -37.89
tariff	- -10.08	-0.029 -10.08	- -5.79	-0.062 -5.79	- -5.79	- -5.79	- -5.79	- -5.79	-0.026 -4.33	-0.175 -4.33
EMFTA	0.321 11.38	0.873 20.34	0.722 22.88	0.049 1.08	0.434 2.52	0.417 9.09	0.823 26.52	1.448 27.59	1.354 28.37	1.924 25.85
EU	1.470 18.48	2.449 53.11	1.575 36.53	0.704 21.99	0.994 5.92	1.587 50.07	1.994 66.08	1.881 47.68	2.299 64.45	0.180 0.71
GAFTA	0.672 1.12	- -	- -	- -	- -	0.549 0.81	1.245 2.34	0.577 1.43	0.032 0.07	- -
AGADIR	1.492 2.57	- -	1.297 1.89	- -	1.904 2.18	1.166 1.7	0.874 1.53	1.776 4.13	1.771 3.77	- -
orlocked	-1.291 -28.67	- -	-2.241 -65.68	-2.274 -30.73	-2.741 -17.22	-1.041 -26.19	-0.415 -11.41	-0.806 -20.74	-0.874 -18.69	-1.429 -13.58
destlocked	-0.668 -11.83	-0.867 -29.66	-0.764 -11.73	-1.140 -24.86	-1.272 -8.38	-2.023 -32.14	-1.136 -21.58	-1.148 -23.23	-0.817 -16.41	-1.558 -12.55
commonborder	3.084 43.71	2.535 72.46	3.935 85.73	3.658 93.91	1.741 10.57	2.707 66.39	2.475 75.81	1.799 28.7	1.747 30.17	2.000 17.33
israel	-4.055 -2.18	- -	-5.955 -12.72	- -	- -	- -	-2.616 -4.71	-8.907 -71.07	0.624 8.61	- -
medod	- 31.94	0.742 31.94	- -	- -	- -	- -	2.025 71.92	0.632 11.98	0.876 17.93	- -
medor	- -40.76	- -	- -	-1.170 -40.76	- -	- -	- -	-0.072 -2.02	- -	-0.462 -5.58
notEU15	- 8.08	- -	- -	0.590 8.08	- -	- -	- -	1.856 14.8	- -	- -
constant	-4.911 -31.02	3.535 33.41	-3.565 -20.34	-0.653 -5.17	6.307 16.94	-4.987 -38.01	-12.071 -37.99	-8.484 -53.8	-8.143 -39.01	2.197 13.01

Nota: i valori mancanti si riferiscono a parametri non significativi per quella commodity.

Tabella 22 – Risultati di calibrazione del modello gravitazionale

⁵⁵ STATA consente di effettuare regressioni lineari OLS, time series, panel data (comando *xtreg*) e panel data SURE (*xtsur*), quest'ultima sviluppata da Biorn (2004) e implementata da Nguyen (2008).

In generale, tutti i coefficienti hanno il segno atteso e risultano significativi; anche le elasticità sono in linea con i riscontri della letteratura tecnica, in particolare per quanto riguarda i costi generalizzati di trasporto per i quali si è vicini al valore considerato “corretto” di 1. In tal senso, fa eccezione la categoria merceologica 3, ma tale risultato è giustificabile tenendo conto che in buona parte fa uso di installazioni di trasporto fisse (ad es. condotte). Inoltre, per quanto riguarda le dummy degli accordi commerciali, quelle EMFTA ed EU sono sempre significative per tutte le merceologie, mentre GAFTA e AGADIR sono effettivamente utili solo nell’ambito di alcune categorie.

3.4 Pivoting delle matrici o-d e provincializzazione

Anche se il modello gravitazionale (3.14) descritto nel paragrafo precedente presenta buoni risultati di calibrazione, ai fini applicativi negli scenari previsionali si è comunque deciso di utilizzare la tecnica del *pivoting*, ovvero di ritenere corrette le variazioni percentuali di domanda predette dal modello ma ancorandole alla stima da fonte delle matrici o-d all’attualità. In termini formali, quindi, risulta:

$$d_{odm}^{t_1} = d_{odm}^{t_0} \frac{\tilde{d}_{odm}^{t_1}}{\tilde{d}_{odm}^{t_0}} \quad (3.16)$$

dove $d_{odm}^{t_1}$ è la stima futura all’istante t_1 della domanda di merceologia m sulla coppia o-d, $d_{odm}^{t_0}$ l’analoga stima all’attualità (istante t_0) mentre $\tilde{d}_{odm}^{t_1}$ e $\tilde{d}_{odm}^{t_0}$ sono rispettivamente le corrispondenti stime da modello agli istanti t_1 e t_0 . La matrice all’attualità $d_{odm}^{t_0}$ è ovviamente desunta dalle fonti dati del paragrafo 3.2.1.

Si noti che la struttura formale del modello gravitazionale (3.8) permette un’applicazione agli scenari futuri notevolmente semplificata qualora la variazione tra t_0 e t_1 interessi un singolo attributo, ad esempio i costi di trasporto; in questo caso infatti applicando la (3.8) agli istanti t_1 e t_0 rispettivamente si ottiene:

$$\tilde{d}_{od}^{mt_1} = \beta_0^m \cdot M_o^{mt_0 \beta_1^m} \cdot M_d^{mt_0 \beta_2^m} \cdot TC_{od}^{mt_1 \beta_3^m} \cdot TD_{od}^{mt_0 \beta_4^m} \cdot \delta_o^{mt_0 \beta_5^m} \cdot \delta_d^{mt_0 \beta_6^m} \cdot \delta_{od}^{mt_0 \beta_7^m} \quad (3.17)$$

$$\tilde{d}_{od}^{mt_0} = \beta_0^m \cdot M_o^{mt_0 \beta_1^m} \cdot M_d^{mt_0 \beta_2^m} \cdot TC_{od}^{mt_0 \beta_3^m} \cdot TD_{od}^{mt_0 \beta_4^m} \cdot \delta_o^{mt_0 \beta_5^m} \cdot \delta_d^{mt_0 \beta_6^m} \cdot \delta_{od}^{mt_0 \beta_7^m} \quad (3.18)$$

il cui rapporto fornisce:

$$\frac{\tilde{d}_{od}^{mt_1}}{\tilde{d}_{od}^{mt_0}} = \frac{TC_{od}^{mt_1 \beta_3^m}}{TC_{od}^{mt_0 \beta_3^m}} = \left(\frac{TC_{od}^{mt_1}}{TC_{od}^{mt_0}} \right)^{\beta_3^m} \quad (3.19)$$

e per sostituzione nella (3.16):

$$d_{odm}^{t_1} = d_{odm}^{t_0} \left(\frac{TC_{od}^{mt_1}}{TC_{od}^{mt_0}} \right)^{\beta_3^m} \rightarrow \frac{d_{odm}^{t_1}}{d_{odm}^{t_0}} = \left(\frac{TC_{od}^{mt_1}}{TC_{od}^{mt_0}} \right)^{\beta_3^m} \quad (3.20)$$

Quindi, la variazione predetta per la domanda è pari direttamente alla variazione dell'attributo costo generalizzato di trasporto elevato alla corrispondente elasticità.

Nelle relazioni precedenti i pedici o e d identificano, come detto, i Paesi di origine e di destinazione rispettivamente a cui viene applicato il modello gravitazionale. Poiché però l'area di studio è stata zonizzata al livello NUTS3, occorre disaggregare le matrici o-d all'attualità e le corrispondenti stime da modello in modo che siano perfettamente congruenti con tale zonizzazione. A tal fine, è intuitivo adottare un modello di disaggregazione di tipo anch'esso gravitazionale, in accordo con il quale:

$$d_{z_o z_d}^{mt} = d_{od}^{mt} \frac{\left(M_{z_o}^{mt} \right)^{\alpha_1} \left(M_{z_d}^{mt} \right)^{\alpha_2} \left(c_{z_o z_d}^{mt} \right)^{\alpha_3}}{\sum_{z'_o \in o} \sum_{z'_d \in d} \left(M_{z'_o}^{mt} \right)^{\alpha_1} \left(M_{z'_d}^{mt} \right)^{\alpha_2} \left(c_{z'_o z'_d}^{mt} \right)^{\alpha_3}} \quad (3.21)$$

dove $d_{z_o z_d}^{mt}$ è la domanda di categoria merceologica m all'anno t tra le zone NUTS3 z_o e z_d appartenenti rispettivamente ai Paesi o e d , $M_{z_o}^{mt}$ e $M_{z_d}^{mt}$ attributi di massa rispettivamente della zona di origine e di destinazione per la categoria m all'anno t e $c_{z_o z_d}^{mt}$ un attributo di impedenza tra le due zone.

Nell'implementazione del DSS si è adatto il modello di provincializzazione utilizzato nel SIMPT (Marzano e Papola, 2010), che opera per macrobranche. In particolare, sono stati utilizzati come attributi di massa gli addetti in origine e in destinazione e come attributo di impedenza il tempo minimo tra tutti i modi per quella coppia z_o - z_d . I corrispondenti coefficienti sono riportati nella seguente Tabella 23 suddivisi per macrobranca merceologica.

macrobranca	coefficienti	
	addetti	tempo minimo
1	0.8	-1.56
2	0.84	-2.09
3	0.83	-1.31
4	0.51	-2.03
5	0.17	-1.08

Tabella 23 – Coefficienti del modello di provincializzazione (adattamento da Marzano e Papola, 2010)

3.5 Modello di scelta modale

3.5.1 Introduzione

Una volta determinate le matrici origine-destinazione per zona e per categoria merceologica, il passo successivo per il completamento del modello di domanda è l'implementazione di un modello di scelta modale per il sistema di trasporto merci dell'area di studio di Figura 16. Come si è discusso nel capitolo 2, è possibile in linea di massima implementare due diversi approcci:

- il primo consiste nel non sviluppare un modello di scelta modale, ma di assegnare piuttosto l'intera matrice o-d al modello di offerta multimodale, e calcolare a posteriori le quote di ripartizione modale osservando i flussi di percorso sulla rete multimodale. Ovviamente, in tal caso si deve adottare un modello di rete multimodale che non fissi a priori una sequenza di modi, con tutte le problematiche del caso descritte nel Capitolo 2;
- il secondo consiste nell'enumerare tutte le alternative modali ammissibili, con una prefissata sequenza di modi, e implementare un modello di scelta modale basato sulla teoria delle scelte discrete che riproduca le scelte tra le sequenze di modi ammissibili disponibili. Il calcolo delle prestazioni di ciascuna sequenza di modi può essere effettuato con uno dei metodi descritti nel Capitolo 2, adottando per esempio l'approccio a nodi clonati se ritenuto rilevante.

Una prima considerazione a tal proposito si riferisce all'indisponibilità di dati disaggregati per la calibrazione disaggregata di modelli di scelta modale merci coerenti col paradigma delle scelte discrete: non sono infatti a disposizione del Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti, né direttamente accessibili da fonti terze, database disaggregati di

interviste/indagini a operatori del trasporto merci e/o a caricatori. D'altra parte, il tema della scelta modale merci riveste una notevole importanza, ed è stato ampiamente trattato in letteratura tecnica: esistono quindi modelli di scelta modale merci già calibrati e operativi che possono essere utilizzati nella presente ricerca.

Per questo motivo, è prima stato effettuato uno stato dell'arte dei modelli di scelta modale di interesse per il lavoro (paragrafo 3.5.2), e successivamente si sono presentati e implementati nel DSS i due modelli più rilevanti e di interesse (paragrafo 3.5.3).

3.5.2 Stato dell'arte

Sebbene la letteratura tecnica sui modelli di scelta modale merci sia meno consolidata e approfondita di quella passeggeri, esistono comunque numerosi contributi e modelli disponibili e consolidati. In ogni caso, la problematica presenta delle specificità notevoli che vale la pena richiamare, riprendendo e generalizzando il contributo di Russo (2001).

In primo luogo, l'effettiva struttura dei flussi di trasporto merci rappresenta di norma il risultato di una sequenza di scelte fatte da un insieme di diversi decisori. Al minimo, due diverse categorie di soggetti possono essere considerate: caricatori e spedizionieri/vettori, i primi che esprimono la domanda di trasporto in termini di caratteristiche e richieste di livello di servizio, i secondi che si incaricano organizzativamente e fisicamente dell'esecuzione del trasporto stesso. Per questo, molto spesso il proprietario dei beni trasportati si differenzia normalmente da chi li sta effettivamente trasportando, che funge quindi da provider conto terzi. Pertanto, la struttura e le caratteristiche della domanda di trasporto merci sono il risultato di scelte di "primo livello", effettuate da imprese e produttori a seconda della loro struttura logistica, e scelte di "secondo livello", effettuate da spedizionieri, vettori e altri fornitori di servizi di trasporto⁵⁶. In secondo luogo, il concetto di modo è di per sé un po' restrittivo nel settore del trasporto merci, come si è visto nel Capitolo 2 a proposito della necessità di riprodurre sequenze multimodali anche complesse.

Nella letteratura tecnica, coerentemente, si individuano due macro-approcci: il primo mira a realizzare modelli comunque semplicemente operativi e robusti, approccio definito "classico", il secondo aspira a implementare modelli più complessi che cerchino di riprodurre

⁵⁶ Si pensi al caso classico di un corriere a cui ci si rivolge normalmente: chi spedisce non sa neanche quale modo e/o percorso verrà utilizzato per la spedizione, e la classica lettera spedita alla porta accanto potrebbe compiere un viaggio apparentemente irrazionale se non interpretato alla luce delle economie di scala perseguite dal corriere nel gestire la sua rete in un certo modo.

in modo più o meno sostanziale il complesso processo di scelte che porta a una data sequenza di modi, approccio definito “logistico”. Rilevanti stati dell’arte in tal senso sono reperibili in de Jong (2000), Pendyala e Shankar (2000), Regan e Garrido (2001), Russo (2002) e Cascetta (2009), che forniscono un’analisi esaustiva dei contributi della letteratura precedente. In particolare, Bontekoning et al. (2004) prevede uno stato esaustivo dell’arte della simulazione dei servizi di trasporto merci intermodale, analizzando più di ottanta articoli precedenti.

In particolare, l’approccio classico si basa principalmente sull’applicazione di modelli di utilità aleatoria, con la stessa logica e caratteristiche normalmente utilizzate per modellare il trasporto passeggeri: pertanto, l’obiettivo è riprodurre la scelta all’interno di un gruppo di alternative modali esogenamente definite. Nell’ambito dell’approccio classico, sono poi individuabili due categorie di modelli. La prima si applica direttamente alle tonnellate totali scambiate per una certa coppia o-d, ed è stata storicamente proposta per prima in letteratura: in questo contesto, le variabili esplicative sono di solito rappresentate da tempi di percorrenza e costi, come descritto nel contributo rilevante fornito da Oum (1979). I modelli appartenenti a questa categoria di solito portano a previsioni insoddisfacenti e pertanto non sono ampiamente applicati nella pratica. La seconda categoria mira a simulare la scelta modale per ogni singola spedizione data una coppia o-d, tenendo esplicitamente conto delle caratteristiche proprie della spedizione stessa (ad es. frequenza, valore specifico, peso specifico, volume, peso, presenza di unità di carico intermodali): per questo si parla di modelli *consignment*. Nell’ambito dei modelli *consignment* si possono poi adottare due ulteriori approcci: il primo prevede di specificare e calibrare modelli diversi per ciascuna tipologia di spedizione, ed applicarli ad una data coppia o-d adottando opportune tecniche di segmentazione delle spedizioni totali in modo da ricostruire l’universo per ogni tipologia⁵⁷: le applicazioni più recenti all’interno di questo contesto per l’Italia sono stati forniti da Nuzzolo e Russo (1997b), Marzano e Papola (2004) e Russo (2005). Il secondo invece prova a considerare contemporaneamente la scelta della dimensione della spedizione, della frequenza della spedizione e del modo di trasporto scelto⁵⁸, attraverso modelli di scelta misti discreto-continui, come proposto dalla Abdelwahab (1998). Recentemente, Ben-Akiva et al. (2007) hanno anche proposto un approccio microsimulativo per la simulazione congiunta di

⁵⁷ Tale approccio è normalmente implementato a partire da indagini disaggregate in cui si indagano proprio le caratteristiche della spedizione, e si assume in particolare che la quota percentuale di ciascuna classe di spedizioni sul totale osservata nel campione sia valida anche per l’universo (tecnica della *sample enumeration*).

⁵⁸ Ad esempio, è intuitivo ipotizzare che frequenze e volumi di spedizione siano inversamente proporzionali, e che al crescere dei volumi (ad es. oltre le capacità consentite dal trasporto stradale) diventino molto più appetibili modi di trasporto alternativi alla strada.

frequenza/volume e modo della spedizione. In tutti i casi, comunque, è sempre applicato un approccio di scelta di tipo sincronico, in coerenza con l'impossibilità di sviluppare modelli diacronici efficienti per le merci: un contributo rilevante in tal senso si deve ad Aponte et al. (2006). In ogni caso, alcuni aspetti rilevanti della modellazione diacronica del trasporto merci sono discussi in Pallottino e Scutellà (1998).

Nell'approccio logistico, invece, si prova come detto a simulare il processo di scelta a livello di supply chain che conduce a dati flussi modali per ciascuna coppia o-d. Modelli di questo tipo rappresentano spesso la base per la simulazione delle interazioni tra i trasporti e l'economia: uno stato dell'arte recente è fornito nel contributo di de Jong et al. (2004) nonché in Cascetta (2009), mentre contributi rilevanti sono proposti da Friesz et al. (1983), Friesz e Harker (1985), Crainic (1999), Tavasszy et al. (2000), Nagurney et al. (2002) e Russo e Cartenì (2005). Va però detto che il livello e la quantità di dati di input richiesti da questo tipo di modelli li rende di fatto non applicabili in DSS come quello sviluppato nella presente ricerca.

3.5.3 Modelli utilizzati nell'ambito della ricerca

Stante l'indisponibilità di database disaggregati per la calibrazione ad hoc di un modello di scelta modale del tutto nuovo, si è deciso di utilizzare nel DSS i due ritenuti più adatti in letteratura, implementandoli ed effettuando correzioni aggregate sulla base delle quote di ripartizione modale complessive per coppia o-d fornite da EUROSTAT. In particolare, si sono presi in considerazione il modello merci del SIMPT⁵⁹, inizialmente sviluppato da Marzano e Papola (2004) e aggiornato dagli stessi autori nel 2009, e il modello di scelta tra tutto strada e Ro-Ro sviluppato da Papola et al. (2004) nell'ambito di uno studio di fattibilità per un servizio di autostrada del mare tra Napoli e Barcellona. Entrambi i modelli sono descritti di seguito.

Innanzitutto, il modello di scelta modale sviluppato da Marzano e Papola (2004) si applica separatamente a due macroclassi merceologiche, rispettivamente quella delle merci deperibili/alto valore e quella delle merci industriali. L'approccio utilizzato è di tipo classico con approccio consignment, quindi è simulata la scelta modale di una singola spedizione adottando quali variabili di segmentazione della domanda la classe di peso della spedizione, la

⁵⁹ Il SIMPT (Sistema Informativo per il Monitoraggio e la Pianificazione dei Trasporti) è il sistema di modelli italiano di riferimento adottato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per la pianificazione di settore in Italia.

frequenza, il valore specifico, la presenza di unità di carico intermodali. In particolare, per quanto riguarda la macroclasse dei prodotti industriali, sono individuate come dimensioni per la classificazione della domanda la classe di peso ($w_1 < 3.5$ tonn; $3.5 < w_2 < 16$ tonn; $16 < w_3 < 30$ tonn; $w_4 > 30$ tonn) e la containerizzazione (containerizzato, non containerizzato). Invece, per quanto riguarda la macroclasse dei prodotti deperibili/alto valore, sono individuate le seguenti dimensioni per la classificazione della domanda: classe di peso ($w_1 < 3.5$ tonn; $3.5 < w_2 < 16$ tonn; $16 < w_3 < 30$ tonn; $w_4 > 30$ tonn), frequenza ($\leq 1/\text{mese}$, $> 1/\text{mese}$) e valore specifico (≤ 20.000 €/t, > 20.000 €/t). Complessivamente, dunque, si hanno 8 segmenti di domanda per le merci industriali e 16 segmenti di domanda per le merci deperibili, per complessivi 24 segmenti di domanda cui applicare la scelta modale.

Nella specificazione del modello sono state testate forme funzionali coerenti con il paradigma dell'utilità aleatoria, in particolare è stata adottata una specificazione di tipo Logit Multinomiale (si veda ad es. Cascetta (2009)) secondo la quale la probabilità di scelta del modo m per la macroclasse mc e il segmento di domanda s è data da:

$$p_{mc}^s[m] = \frac{e^{V_{mc m}^s / \theta}}{\sum_{m'} e^{V_{mc m'}^s / \theta}} \quad (3.22)$$

nella quale $V_{mc m}^s$ è l'utilità sistematica del modo m relativa ad una spedizione di segmento s e macroclasse mc e θ è il parametro di varianza del Logit.

Per quanto attiene alla specificazione dell'insieme di scelta, si è adottato il principio del modo prevalente: ovvero, uno spostamento ad esempio marittimo o ferroviario che richieda un accesso/egresso stradale è trattato assegnandolo al modo prevalente non stradale e lasciando all'assegnazione il compito di allocarlo correttamente come somma di due flussi stradali e di un flusso marittimo o ferroviario. Ovviamente, utilizzando il modello di offerta del Capitolo 2, tale opzione si può realizzare definendo opportunamente sequenze multimodali esogene (ad es. strada-mare-strada e strada-mare-strada-mare-strada), verificando quella più conveniente rispetto all'impedenza scelta da minimizzare e assegnando quindi i valori calcolati sul minimo percorso al modo prevalente "mare". Infine, in spostamenti del tipo strada-ferro-mare-strada e strada-mare-ferro-strada si calcola quale tra i modi stradale e ferroviario sia prevalente e lo si assegna alla corrispondente alternativa nel modello di scelta modale. Ciò premesso, l'insieme di scelta del modello utilizzato nel DSS è costituito dai seguenti modi di trasporto merci: veicoli commerciali leggeri su gomma, veicoli commerciali

medi su gomma, veicoli commerciali pesanti su gomma, trasporto ferroviario tradizionale, trasporto ferroviario combinato (container, Ro-Ro o cassa mobile a seconda del segmento di domanda), trasporto marittimo combinato (container o Ro-Ro a seconda del segmento di domanda). Le modalità aereo, marittimo tradizionale e navigazione interna sono invece trattate come captive e vengono sottratte alle matrici o-d a monte della scelta modale. Si è inoltre tenuto conto della disponibilità di ogni singolo modo per ciascuna coppia origine destinazione, rendendo cioè non disponibili i modi o non presenti o dominati.

Per ciascuna alternativa di scelta modale sono stati introdotti i seguenti attributi: tempo di percorrenza del modo tra origine e destinazione (min), costo monetario del modo tra origine e destinazione (€), variabili dummy di segmentazione. In particolare, il tempo e il costo sono riferiti al percorso di minima impedenza per quel dato segmento di domanda. In dettaglio, le specificazioni adottate per ciascuna alternativa sono le seguenti:

$$V_{stradaLeg}^w = \beta_3 T_{stradaLeg}^w + \beta_4 P_{stradaLeg}^w$$

$$V_{stradaMedi}^w = \beta_3 T_{stradaMedi}^w + \beta_4 P_{stradaMedi}^w$$

$$V_{stradaPes}^w = \beta_3 T_{stradaPes}^w + \beta_4 P_{stradaPes}^w$$

$$V_{ferroTrad}^w = \beta_1 T_{ferroTrad}^w + \beta_4 P_{ferroTrad}^w + \beta_5 Pe_{30} + \beta_7 freq + \beta_8 Val / Pe_{20} + \beta_9 Trad$$

$$V_{ferroComb}^w = \beta_2 T_{ferroComb}^w + \beta_4 P_{ferroComb}^w + \beta_6 Container + \beta_{10} Comb$$

$$V_{mare}^w = \beta_2 T_{mare}^w + \beta_4 P_{mare}^w + \beta_{10} RoRo$$

nelle quali T^w e P^w si riferiscono rispettivamente al tempo e al prezzo per la categoria di peso w e per il modo indicato in pedice, Pe_{30} è una dummy che vale 1 per spedizioni di peso superiore alle 30 tonnellate, $freq$ vale 1 se la spedizione avviene più di una volta al mese, Val/Pe_{20} vale 1 se il valore specifico della spedizione supera i 20 k€/tonn, e infine $Trad$, $Comb$ e $RoRo$ sono le costanti specifiche delle alternative.

I parametri calibrati del modello sono quelli riportati nella seguente Tabella 24, che riporta i valori dei beta e i test statistici disaggregati e aggregati desunti dall'aggiornamento del modello condotto da Marzano e Papola (2010).

Attributo	unità	mc1		mc2	
tempo strada	min	-0.00361	-4.6	-0.002324	-4.2
tempo treno	min	-0.00151	-6.1	-0.00129	-6.4
tempo combinato	min	-0.007217	-7	-0.004933	-7.4
costo	€	-0.0023	-2	-0.00124	-1.9
frequenza > 1 mese	0/1			1.63	2
valore specifico > 20000 €/tonn	0/1			3.63	4.1
container	0/1	5.29	3.3		
peso > 30 tonn	0/1	3.84	2.8	2.59	3.3
RoRo	0/1	4.35		4.35	
Comb	0/1	3.87		3.87	
Trad	0/1	-11.23		-11.23	
$Ln(0)$	-187				
$Ln(b)$	-42				
r^2	0.78				

Tabella 24 – Parametri calibrati del modello di scelta modale (fonte: Marzano e Papola, 2010)

Ovviamente, perché tale modello possa essere applicato, è necessario disaggregare le matrici o-d provincializzate per ciascuna macroclasse nei corrispondenti segmenti di domanda: a tal fine, si è proceduto da fonte Eurostat laddove possibile (ad esempio per l'incidenza del containerizzato sul totale), mentre per le restanti segmentazioni non coperte si è proceduto con la già citata tecnica della sample enumeration utilizzando le percentuali da campione fornite da Marzano e Papola (2004).

Nel corso dello svolgimento della ricerca si è poi ipotizzata una correzione aggregata dei parametri del modello di scelta modale di tipo GLS in modo da riprodurre le quote modali aggregate a livello nazionale osservate da fonte Eurostat: tale approccio si è rivelato però non fattibile operativamente per le dimensioni del problema, non gestibile ad esempio attraverso gli algoritmi di ottimizzazione disponibili in Matlab. Di conseguenza, in termini empirici si è verificata la congruenza degli output di questo modello con le probabilità di scelta aggregate osservate solo su alcune coppie o-d verso Paesi terzi e in alcuni punti rilevanti (ad es. i valichi alpini), fornendo buoni risultati nella maggior parte dei casi e suggerendo opportune modifiche dell'offerta e/o dei parametri del modello in altri.

Il secondo modello sviluppato nel DSS, e utilizzato in alcune applicazioni del Capitolo 4 tra coppie o-d per le quali la modalità ferroviaria è non presente e dunque si tratta di valutare la competizione solo tra alternative stradali e marittime di tipo Ro-Ro (viste le brevi distanze coinvolte), è stato desunto dallo studio di fattibilità di un servizio di autostrade del mare tra Napoli e Barcellona condotto da LOGICA nel 2004. Esso modella la scelta binaria tra tutto strada e Ro-Ro con un Logit Binomiale in cui le alternative sono i veicoli pesanti su strada e il trasporto combinato marittimo di tipo Ro-Ro, con la seguente specificazione dell'utilità sistematica:

$$V_{stradaPes} = \beta_{tempo} T_{stradaPes} + \beta_{costo} P_{stradaPes}$$

$$V_{mare} = \beta_{tempo} T_{mare} + \beta_{costo} P_{mare} + \beta_{combinato}$$

nella quale per ciascuna alternativa figurano tempi e costi con coefficienti generici e $\beta_{combinato}$ è la costante specifica dell'alternativa per il trasporto Ro-Ro. I parametri calibrati da LOGICA (2004) su base di indagine RP/SP sono riportati nella seguente Tabella 25.

Test / indicatore	Valore
β_{tempo} [1/giorni]	-5,396
β_{costo} [1/1.000 Euro]	-6,466
$\beta_{combinato}$	-1,355
ρ^2	0,672
ρ^2	0,622
t-ratio β_{tempo}	-3,785
t-ratio β_{costo}	-3,235
t-ratio $\beta_{combinato}$	-3,134
VOT [Euro/ora]	35

Tabella 25 – Parametri calibrati del modello di scelta modale tra tutto strada e RoRo (fonte: LOGICA, 2004)

3.6 Procedure di interazione-domanda offerta

L'applicazione in sequenza del modello gravitazionale, del modello di provincializzazione e del modello di scelta modale – con le aggregazioni merceologiche del caso e la relativa sottrazione di tonnellate captive a monte della scelta modale – permette di calcolare le matrici origine-destinazione per modo di trasporto relativamente a ciascun segmento di domanda. Il passo rimanente è quindi quello di procedere all'assegnazione di tali matrici al modello di offerta al fine di calcolare i flussi di arco e di percorso (dove rilevanti).

A tal fine, basta tenere memoria della miglior combinazione di sequenza di modi che ha condotto a ciascun modo prevalente in fase di scelta modale (e.g. strada-mare-strada piuttosto che strada-mare-strada-mare-strada), e assegnarvi la corrispondente matrice modale: ciò è possibile ovviamente se si costruisce una opportuna corrispondenza tra i segmenti di offerta definiti nel Capitolo 2 e i segmenti di domanda definiti in questo capitolo.

Le assegnazioni sono effettuate, per tutti i modi, a rete non congestionata, con procedure di tipo SNL (Logit o Probit) per il tutto strada e di tipo tutto o niente per le altre modalità di

trasporto. Nella strada, in particolare, laddove disponibili si sono inseriti dei precarichi stradali di veicoli passeggeri in modo da simulare almeno in maniera approssimata gli effetti della congestione a ridosso delle grandi aree urbane. La scelta di procedere con assegnazioni di carico della rete è innanzitutto motivata dal fatto che, assegnando matrici in tonnellate/anno, non avrebbe senso definire funzioni di costo congestionate relativamente a tale intervallo temporale, né è ragionevole pensare di ricondursi a matrici di punta viste le caratteristiche del fenomeno e la durata media degli spostamenti o-d nell'area di studio del DSS. Inoltre, lavorare a reti non congestionate consente anche di sovrapporre gli effetti, assegnando cioè separatamente ed in sequenza ciascun segmento di domanda al corrispondente segmento di offerta.

Un aspetto che si è invece deciso di non considerare riguarda l'introduzione di vincoli di capacità dei servizi ferroviari e marittimi, essenzialmente perché è impossibile ricostruire in maniera esatta, ampia e dettagliata le tipologie di veicoli in servizio sulle varie tratte dell'area di studio né si hanno informazioni esaustive circa le frequenze dei singoli servizi ferroviari e marittimi. Di conseguenza, i risultati delle assegnazioni devono essere interpretati come "linee di desiderio" di domanda laddove questa ecceda la capacità ragionevolmente ipotizzabile dei servizi che essa utilizza. In ogni caso, il DSS messo a punto permette direttamente di incorporare euristiche di assegnazione (e.g. assegnazione incrementale) in modo da soddisfare eventuali vincoli di capacità qualora li si volesse esplicitare.

Un aspetto importante delle procedure di assegnazione della domanda di trasporto merci riguarda le numerose applicazioni per le quali è più rilevante il dato espresso in numero di veicoli (es. carri ferroviari, trailer accompagnati e non per la strada): a tal fine, però, occorre necessariamente tener conto della possibile incidenza dei ritorni a vuoto lungo direttrici di domanda sbilanciate⁶⁰. Di conseguenza, una volta calcolate le matrici in tonnellate/anno si è proceduto come segue:

- le matrici in tonnellate/anno sono convertite in matrici in veicoli/anno per modo utilizzando i coefficienti di conversione già introdotti nel Capitolo 2, calcolando quindi un flusso di veicoli pieni/anno vp_{od} per ciascuna coppia o-d;
- ad ogni coppia o-d viene associato un flusso di veicoli totali v_{od} pari al massimo tra

⁶⁰ In generale, il problema è molto complesso e potrebbe presentarsi anche su coppie o-d perfettamente bilanciate in termini di flussi, se semplicemente le esigenze di trasporto delle merci/spedizioni in una direzione sono diverse rispetto alla direzione opposta. In tal senso, una analisi approfondita degli approcci di modellazione disponibili è suggerito da Holguin Veras (2003).

vp_{od} e vp_{do} amplificato di un fattore α , che tiene conto del fatto che non sempre chi viaggia pieno all'andata riesce a trovare un carico disponibile al ritorno, al di là dello sbilanciamento. Nella ricerca è stato assunto, sulla base di dati derivati dal SIMPT, un valore di α pari a 1.3;

- si assegnano con le procedure già descritte in precedenza le matrici o-d in veicoli così calcolate.

A titolo di esempio, si riporta nella seguente Figura 42 l'assegnazione della matrice o-d stradale in veicoli pesanti/anno per lo scenario attuale e per la sola Italia. Sulla base di tale matrice sono state effettuate anche alcune correzioni sia della matrice o-d nazionale sia del parametro α prima citato. Numerosi altri esempi di assegnazione all'intera area di studio e con riferimento alle diverse modalità di trasporto saranno presentate nel Capitolo 4 relativamente a varie applicazioni.

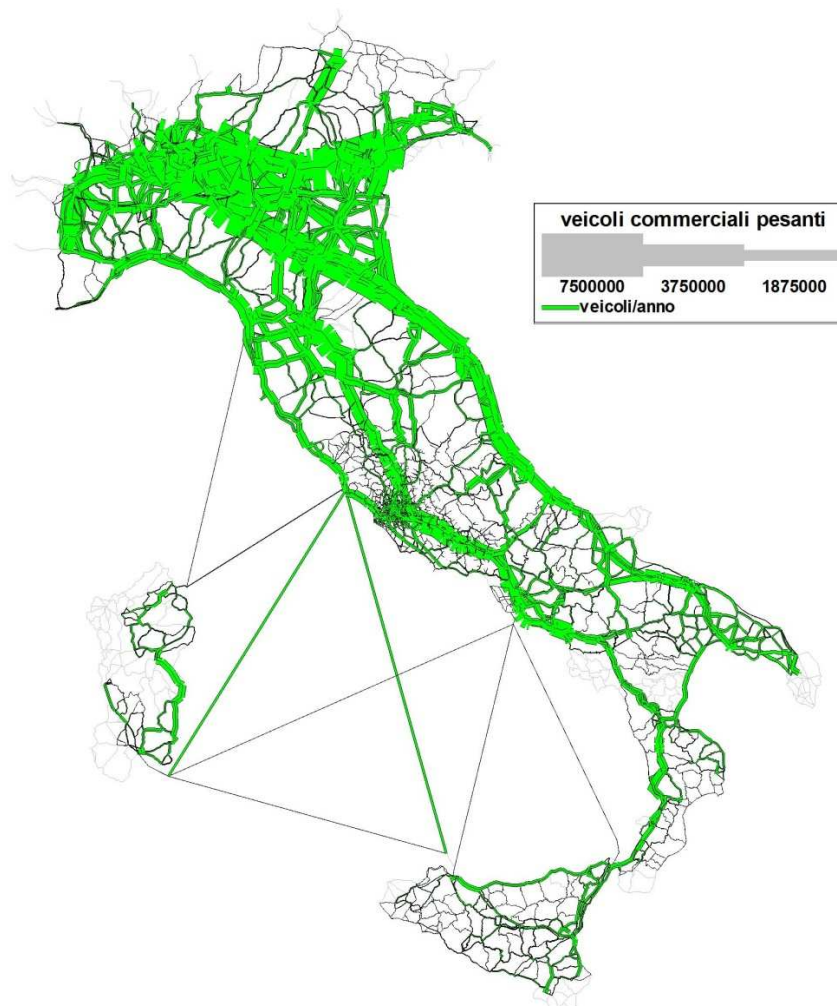


Figura 42 – Assegnazione della matrice o-d strada per spostamenti nazionali in veicoli/anno (dettaglio relativo all'Italia)

3.7 Modello MRIO

3.7.1 Cenni teorici

3.7.1.1 Formulazione generale del modello

Nella realtà, una variazione positiva di PIL di una zona z_I determina in generale un aumento dei flussi merci sia in ingresso sia in uscita da z_I , e quindi in particolare aumenteranno i flussi in uscita da tutte le zone dell'area di studio z_j verso z_I . Questo aumento di flusso in uscita dovrebbe tradursi in un aumento di produzione di ciascuna zona z_j , e dunque dovrebbe a sua volta richiamare flussi di merce in ingresso in ciascuna z_j . Di conseguenza, le relazioni economiche che esistono tra le zone dell'area di studio determinano interazioni e interdipendenze complesse in risposta a variazioni di PIL o dei costi di trasporto, caratterizzate da numerosi effetti incrociati e sovrapposti.

In tal senso, come si è visto in dettaglio nel paragrafo 3.3, il modello gravitazionale è sensibile ad attributi di massa (tipicamente il PIL) delle zone di origine e di destinazione rispettivamente e ad attributi di impedenza tra le zone di origine e destinazione, ed ha una risposta di tipo bipolare, nel senso che predice direttamente un aumento o una diminuzione di flusso tra le due zone coinvolte senza modellare esplicitamente le complesse interdipendenze di cui si diceva prima. Pertanto, anche se i modelli gravitazionali hanno avuto larghissimo impiego negli studi che riguardano la previsione dei flussi merci a livello internazionale, a scala territoriale più ristretta esiste una diversa classe di modelli – definiti modelli MRIO (Multi-Regional Input-Output) – che permette di tener conto di tali interdipendenze e di simulare, più in generale, alcune relazioni tra il sistema di trasporto e il sistema economico. In tale tipo di ambito esistono numerosi studi e per uno stato dell'arte completo ci si può riferire a Daugherty (1979), Harker e Friesz (1986), Picard e Nguyen (1987), Zlatoper e Austrian (1989), Roson (1993), Mazzarino (1997), Izard et al. (1998), Regan e Garrido (2002), Tavasszy et al. (2002), Juri et al. (2005), Cascetta et al. (2007).

Nei modelli MRIO si assume che l'area di studio sia divisa in regioni economiche, per ognuna di queste è possibile costruire una tabella input-output, in cui le colonne rappresentano la disponibilità di beni di categoria m nella regione i , tale disponibilità è data dalla somma della produzione interna X_i^m e delle importazioni nazionali ed internazionali J_{REGi}^m e J_{ESTi}^m ; la produzione X_i^m è a sua volta data dalla somma del valore K_i^{nm} dei beni di ogni settore n necessari per la produzione m in i . Allo stesso modo la generica riga n

rappresenta la domanda della regione i di beni del settore n , data dall'aliquota da riutilizzare in produzione K_i^{nm} , dalla domanda finale Y_i^n e dalle esportazioni nazionali ed internazionali Y_{REGi}^n e Y_{ESTi}^n (Figura 43).

Region i		Sectors of production				Final demand	Regional export	International export
		S_1	S_2	S_3	S_4			
Sectors of production	S_1	...	...	...	...	...	...	...
	S_2	...	...	...	...	...	...	...
	S_3	...	K_i^{32}	...	...	Y_i^3	Y_{REGi}^3	Y_{ESTi}^3
	S_4	...	...	...	...	...	...	...
Added value		...	...	...	...
Value of production		...	X_i^2	...	...	
Regional import		...	J_{REGi}^2	...	...	
International import		...	J_{ESTi}^2	...	...	

Figura 43 - Struttura schematica di una tavola i-o e rappresentazione delle variabili rilevanti (Cascetta et al. 1997)

Il bilancio tra righe e colonne è rappresentato dall'equazione di equilibrio tra disponibilità di un bene di un certo settore, data dalla produzione interna e dalle importazioni, e domanda totale, data dai consumi interni, finali o intermedi, e dalle esportazioni:

$$X_i^m + J_{REGi}^m + J_{ESTi}^m = \sum_n K_i^{mn} + Y_i^m + Y_{REGi}^m + Y_{ESTi}^m \quad (3.23)$$

L'applicazione dei modelli MRIO richiede il calcolo delle variazioni di produzione dovute a cambiamenti della domanda finale secondo un approccio cosiddetto *demand driven*; un approccio simmetrico di tipo *supply driven* si può trovare in Miller e Blair (1985). I modelli MRIO demand driven si basano sull'equazione di bilancio (3.23) introducendo due tipi di coefficienti: coefficienti tecnici e coefficienti di scambio. I coefficienti tecnici a_i^{mn} esprimono il valore dei beni del settore m necessari per produrre una unità di valore del bene del settore n nella regione i :

$$a_i^{mn} = \frac{K_i^{mn}}{X_i^n} \quad (3.24)$$

I coefficienti di scambio tengono in conto le differenti origini dei beni richiesti in ogni regione. Va detto che mentre la definizione di coefficiente tecnico è condivisa in tutte le specificazioni MRIO, per quanto riguarda i coefficienti di scambio esistono diverse definizioni. In particolare nella prima specificazione di tipo IRIO (inter-regional i-o) (Izard 1951) i coefficienti di scambio t_{ij}^{mn} vengono introdotti come percentuale di beni del settore m prodotti nella regione i ed usati per produrre il bene n nella regione j . Tale definizione appare in realtà poco operativa, soprattutto in applicazioni di larga scala per la difficoltà di reperire ed osservare tali percentuali. Una semplificazione introdotta da Chenery (1953) e Moses

(1955) definisce i coefficienti di scambio come percentuali di acquisizione indipendentemente dal settore di utilizzazione, assumendo cioè $t_{ij}^{mm} = t_{ij}^m$ e su tale assunzione si basano i classici modelli MRIO. L'equazione di bilancio e le definizioni dei coefficienti tecnici e di scambio forniscono la formulazione dei modelli MRIO; a tal proposito è opportuno far notare che si possono sviluppare diversi modelli sulla base di diverse assunzioni, in particolare si può assumere che:

- le esportazioni internazionali siano soddisfatte solo dalla produzione interna o anche dalle importazioni;
- le importazioni internazionali possono essere ritenute fisse (esogene) o variabili (endogene);
- le importazioni internazionali esogene possono essere aggregate, rappresentando solo una quantità fissa da sottrarre alla domanda finale, o disaggregate in una aliquota destinata alla domanda finale ed una aliquota destinata al riuso.

Le precedenti assunzioni portano alle formulazioni classificate in Figura 44, dove X è il vettore della produzione, T ed A le matrici di scambio e dei coefficienti tecnici, Y il vettore di domanda finale, Y_{REG}/Y_{EST} e J_{REG}/J_{EST} i vettori degli import-export regionali ed internazionali ed I la matrice identità.

		INTERNATIONAL EXPORTS	
		Satisfied only by internal production	Satisfied by internal production and imports
INTERNATIONAL IMPORTS	ENDOGENOUS	$X = (I - TA)^{-1}(TY + Y_{EXT})$ Panicià and Casini Benvenuti (2002)	$X = (I - TA)^{-1}[T(Y + Y_{EXT})]$
	EXOGENOUS Disaggregate	$X = (I - TA)^{-1}[T(Y - J_{EXT}) + Y_{EXT}]$	$X = (I - TA)^{-1}[T(Y - J_{EXT} + Y_{EXT})]$ Leontief (1963) Bon (1984)
	EXOGENOUS Aggregate	$X = (I - TA)^{-1}(TY - J_{EXT} + Y_{EXT})$ Chenery (1953) Moses (1955)	$X = (I - TA)^{-1}[T(Y + Y_{EXT}) - J_{EXT}]$ Costa (1987) Cascetta (2001)

Figura 44 - Tassonomia dei modelli MRIO (Marzano e Papola, 2004)

Riferendosi al caso di importazioni endogene ed esportazioni internazionali soddisfatte dalla sola produzione interna possiamo notare che le quantità K_i^{mn} (aliquota da riutilizzare in produzione) e Y_i^m (domanda finale) sono in parte prodotte nella stessa regione i ed in parte importate da altre regioni o dall'estero:

- produzione interna: $t_{ii}^m K_i^{mn}$ e $t_{ii}^m Y_i^m$
- importazione dalla regione j : $t_{ji}^m K_i^{mn}$ e $t_{ji}^m Y_i^m$
- importazione dall'estero: $t_{ei}^m K_i^{mn}$ e $t_{ei}^m Y_i^m$

dove i coefficienti di scambio t_{ji}^m rappresentano le percentuali di beni del settore m richiesti dalla regione i per qualunque uso provenienti dalla regione j o dall'estero e . Ne segue che:

$$t_{ei}^m + \sum_j t_{ji}^m = 1$$

Utilizzando le relazioni precedenti si può dunque scrivere:

$$J_{REGi}^m = \sum_n \sum_{j \neq i} t_{ji}^m K_i^{mn} + \sum_{j \neq i} t_{ji}^m Y_i^m = \left(\sum_{j \neq i} t_{ji}^m \right) \left(\sum_n K_i^{mn} + Y_i^m \right)$$

$$J_{ESTi}^m = \sum_n t_{ei}^m K_i^{mn} + t_{ei}^m Y_i^m = t_{ei}^m \left(\sum_n K_i^{mn} + Y_i^m \right)$$

$$\sum_n K_i^{mn} = \sum_n t_{ii}^m K_i^{mn} + \sum_n \sum_{j \neq i} t_{ji}^m K_i^{mn} + \sum_n t_{ei}^m K_i^{mn}$$

$$Y_i^m = t_{ii}^m Y_i^m + \sum_{j \neq i} t_{ji}^m Y_i^m + t_{ei}^m Y_i^m$$

$$Y_{REGi}^m = \sum_n \sum_{j \neq i} t_{ij}^m K_j^{mn} + \sum_{j \neq i} t_{ij}^m Y_j^m = \sum_{j \neq i} \left[t_{ij}^m \left(\sum_n K_j^{mn} + Y_j^m \right) \right]$$

Sostituendo le precedenti relazioni nell'equazione di bilancio si arriva alla seguente espressione che rappresenta la formulazione MRIO:

$$X_i^m = \sum_n \sum_j t_{ij}^m K_j^{mn} + \sum_j t_{ij}^m Y_j^m + Y_{ESTi}^m$$

ed infine introducendo i coefficienti tecnici si ottiene:

$$X_i^m = \sum_n \sum_j t_{ij}^m a_j^{mn} X_j^n + \sum_j t_{ij}^m Y_j^m + Y_{ESTi}^m$$

od in forma vettoriale:

$$\mathbf{X} = \mathbf{TAX} + \mathbf{TY} + \mathbf{Y}_{EST} \quad \rightarrow \quad \mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{TA})^{-1}(\mathbf{TY} + \mathbf{Y}_{EST}) \quad (3.25)$$

La formulazione base può essere estesa al fine di rappresentare in maniera realistica la struttura economica e per introdurre una dipendenza esplicita dalle prestazioni del sistema di trasporto. In particolare ogni variabile nell'equazione di equilibrio può essere descritta da un modello comportamentale, conducendo a specificazioni estremamente complesse che sfortunatamente richiedono una enorme quantità di dati, non sempre disponibili, per essere applicati. È il caso del modello MMMVIO (Multi regional multimodal multi-output variable i-o Liew e Liew 1984), che incorpora al suo interno l'elasticità della struttura produttiva dovuta alle variazioni del livello dei prezzi e che pur essendo molto esaustivo da un punto di vista teorico, risulta poco operativo per la mole di dati di input richiesti. Per rappresentare esplicitamente le interrelazioni tra trasporti ed economia, si può introdurre all'interno del modello MRIO l'elasticità rispetto a variabili economiche e trasportistiche per mezzo di una simulazione esplicita dei coefficienti tecnici e di scambio come funzioni di tali variabili (De La Barra, 1989; Hunt, 1993; Hunt e Echenique, 1993, Fan et al. 2000).

3.7.1.2 Modellazione dei coefficienti di scambio

Il punto cruciale dell'applicazione dei modelli MRIO è rappresentato da una corretta stima dei coefficienti di scambio. Infatti gli altri dati necessari alla loro implementazione sono di solito ottenibili dalle tabelle i-o regionali, mentre i coefficienti di scambio vengono stimati mediante indagini ad hoc o per mezzo di altre basi dati relative agli scambi merci (forniti a volte dagli istituti di statistica). Ne deriva una frequente incongruenza tra coefficienti di scambio e tabelle i-o che non soddisfano l'equazione di bilancio che riduce notevolmente l'affidabilità e le capacità predittive del modello MRIO. Tale problema è stato affrontato da Marzano e Papola (2004) e da Cascetta et al. (2007) notando che i due tipi di coefficienti di scambio t_{ei}^m e t_{ii}^m possono essere calcolati direttamente dalle tabelle i-o. In particolare si può scrivere:

$$t_{ei}^m = \frac{J_{ESTi}^m}{\sum_j K_i^{jm} + Y_i^m}$$

$$t_{ii}^m = 1 - t_{ei}^m - \sum_{j \neq i} t_{ji}^m$$

e quindi:

$$t_{ii}^m = 1 - \frac{J_{ESTi}^m + J_{REGi}^m}{\sum_n K_i^{nm} + Y_i^m}$$

Con tale equazione è possibile ridurre in maniera sostanziale l'incongruenza tra coefficienti di scambio e dati i-o, poiché la percentuale di acquisizione interna è solitamente la maggiore per ogni regione, cioè la domanda di un certo bene in una certa regione è soddisfatta soprattutto dalla produzione interna. In alternativa i coefficienti di scambio possono essere corretti attraverso un minimi quadrati generalizzato secondo la formulazione:

$$\mathbf{T}^* = \underset{\mathbf{T} \in S_T}{\operatorname{argmin}} \left[\sum_{i,m,j} \frac{(t_{ji}^m - \hat{t}_{ji}^m)^2}{\operatorname{var}[t_{ji}^m]} + \sum_{i,m} \frac{(X_i^m(\mathbf{T}) - \hat{X}_i^m)^2}{\operatorname{var}[X_i^m]} \right]$$

dove \hat{t}_{ij}^m e \hat{X}_i^m rappresentano le stime a priori (da indagini e da tabelle i-o), $X_i^m(\mathbf{T})$ rappresenta il modello MRIO ed S_T è l'insieme di ammissibilità per i coefficienti di scambio. Il problema di minimizzazione fornisce un vettore \mathbf{T}^* il più vicino alla stima a priori e che riduce al minimo la differenza tra produzioni fornite dal modello e dalle tabelle i-o.

L'ipotesi di coefficienti di scambio elastici consente di simulare esplicitamente gli effetti di cambiamenti nel sistema di trasporto sulla struttura economica e sulla distribuzione degli scambi (Min et al. 2001 e Timmermans 2003). Interessante in tal senso è l'approccio di De la Barra (1989), dove i coefficienti di scambio sono simulati con un modello di utilità aleatoria. Tale approccio, noto in letteratura come RUBMRIO (random utility based MRIO), simula le variazioni dei coefficienti di scambio mediante un modello Logit Multinomiale:

$$t_{ij}^m = \frac{e^{V_{ij}^m}}{\sum_k e^{V_{kj}^m}} = \frac{e^{-(b_i^m + d_{ij}^m)/\theta^m}}{\sum_k e^{-(b_k^m + d_{kj}^m)/\theta^m}}$$

dove V_{ij}^m rappresenta l'utilità sistematica della regione i , b_i^m è il prezzo di vendita del bene del settore m nella regione i , θ^m è il parametro di varianza del Logit e d_{ij}^m il costo generalizzato di trasporto del bene del settore m tra le regioni i e j .

Il prezzo di vendita è determinato come somma dei costi di acquisizione delle forniture necessarie per la produzione m nella regione i :

$$b_i^m = \sum_n q_i^{nm} c_i^n$$

dove q_i^{mn} rappresenta la quantità di bene del settore n necessaria per produrre una unità del bene del settore m nella regione i , e può essere interpretato come coefficiente tecnico in quantità anziché in valore. Il costo di acquisizione per il settore n in una data regione i è definito come media pesata sui flussi di scambio del costo totale di acquisizione di quel settore da ogni regione j , dato dalla somma dei prezzi di vendita b_j^n di n in j e dal costo di trasporto d_{ji}^n di n da j a i :

$$c_i^n = \frac{\sum_j t_{ji}^n (b_j^n + d_{ji}^n)}{\sum_j t_{ji}^n}$$

Le equazioni precedenti costituiscono un problema di punto fisso che è stato studiato da Zhao e Kockelman (2004), che ne hanno definito le proprietà e le condizioni di esistenza ed unicità. Va notato che tali equazioni consentono un calcolo endogeno dei costi di acquisizione e dei prezzi di vendita se i coefficienti tecnici ed i costi di trasporto sono noti.

La specificazione del modello per il calcolo dei coefficienti di scambio è infine a volte arricchita in letteratura di ulteriori variabili come attributi di massa intesi come proxy dell'attrattività economica della regione e con una maggiore specializzazione dei costi di trasporto. Ad esempio Jin et al. (2003) utilizzano la logsum del modello di scelta modale come d_{ij}^m mentre Cascetta et al. (1998) utilizzano il valore totale della produzione come attributo di massa. Marzano and Papola (2004) hanno proposto per l'utilità sistematica della regione i , fissato un settore m e una regione destinazione j :

$$V_{ij}^m = \begin{cases} \beta_1^m d_{ij}^m + \beta_2^m b_i^m + \beta_3^m Y_{REGi}^m & \text{se } i \neq j \\ \beta_1^m d_{ii}^m + \beta_2^m b_i^m + \beta_4^m A_i^m & \text{se } i = j \end{cases} \quad (3.26)$$

dove d_{ij}^m è calcolato come logsum della scelta modale ed A_i^m è la disponibilità interna di beni del settore m nella regione i , pari a $A_i^m = X_i^m + J_{ESTi}^m - Y_{REGi}^m - Y_{ESTi}^m$ nel quale le variabili hanno il significato prima definito.

3.7.2 Un modello MRIO per il DSS

Come descritto nel Capitolo 1, la struttura di un DSS deve necessariamente comprendere un modulo che consenta di valutare, almeno in prima battuta, gli impatti economici di interventi sul sistema di trasporto, e ciò vale tanto a livello nazionale per interventi di portata euro-

mediterranea sia a livello regionale per interventi di portata nazionale. Pertanto, sulla scorta dello stato dell'arte riportato nel paragrafo 3.7.1, si è ritenuto opportuno implementare un modello MRIO a coefficienti di scambio elastici da innestare a valle dei modelli trasportistici descritti nel Capitolo 2 (offerta) e nella prima parte del Capitolo 3 (domanda). Poiché la disponibilità di dati è un elemento cruciale di implementazione, si propone separatamente di seguito una descrizione di come si è proceduto per l'Italia e per l'area europea.

Per l'Italia si è fatto riferimento essenzialmente al modello implementato da Cascetta et al. (2007), che opera a livello regionale su 17 settori produttivi e che è stato ripreso da Marzano e Papola (2010) nella versione aggiornata del SIMPT. Ci si è quindi limitati a verificare che, alimentando tale modello MRIO – in particolare il modello dei coefficienti di scambio nella versione (3.26) con i coefficienti riportati in Tabella 26 – con gli attributi di offerta restituiti dal modello implementato nel Capitolo 2 vi fosse comunque perfetta congruenza negli output.

Good sector	Parameter			
	β_1	β_2	β_3	β_4
Agriculture and fishing	-2.466	-3.008		1.043
Energy	-0.575	-0.853		0.290
Ferrous/non-ferrous minerals and materials	-0.346		0.372	1.127
Non-metal minerals and products	-4.032	-10.711		1.929
Chemical and pharmaceutical products	-1.568	-0.561	0.160	0.410
Machinery and metal products	-0.679	-2.302	0.127	0.857
Means of transport	-0.613	-1.097	0.240	0.575
Food and drink industry, tobacco	-1.067	-1.454		0.338
Textiles, clothing, leather and shoes	-0.737	-1.781	0.208	1.108
Paper and other industrial products	-0.431	-1.648	0.620	4.658
Wood, rubber	-1.122	-1.789	0.167	0.690

Tabella 26 – Parametri del modello dei coefficienti di scambio (fonte: Cascetta et al. 2007)

Per quanto riguarda invece l'implementazione a livello europeo, ci si è scontrati essenzialmente con l'indisponibilità di tavole input-output armonizzate all'intero livello dell'area di studio del DSS: in particolare, Eurostat fornisce tavole solo per i Paesi riportati in Figura 45 attraverso il database ESA95, che si riferisce a 59 settori merceologici classificati secondo la nomenclatura CPA. Avendo quindi adottato come area di studio del MRIO Europeo i soli Paesi prima rappresentati, si è estratta la sottomatrice relativa agli scambi commerciali a partire dai database consultati e descritti nel paragrafo 3.2, così da pervenire anche ad una stima dei corrispondenti coefficienti di scambio. Ciò ha in particolare richiesto la creazione di una tabella di corrispondenza tra la nomenclatura CPA della tavole i-o e la nomenclatura NST/R delle matrici di flussi disponibili.



Figura 45 – Paesi per i quali EUROSTAT fornisce le tavole i-o con il database ESA95

In termini di modellazione dei coefficienti di scambio, è opportuno sottolineare che – trattandosi di applicazioni a livello nazionale – negli scenari di progetto si applica direttamente il modello gravitazionale, calcolando le variazioni di flussi e da queste le variazioni di coefficienti di scambio da inserire nel MRIO europeo.

4 APPLICAZIONI

4.1 Introduzione

Il presente capitolo riporta alcune applicazioni del sistema di modelli implementato così come descritto nei Capitoli 2 (offerta) e 3 (domanda e assegnazione). Tali applicazioni sono in parte tratte da studi di ricerca applicata e di analisi del sistema di trasporto merci a scala euro-mediterranea condotti dal Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti e da gruppi di lavoro cui si è preso parte nel corso dello svolgimento della tesi: esse mostrano come il sistema di modelli messo a punto nella tesi possa essere utilizzato a livello pratico per attività di pianificazione o progettazione da parte di soggetti pubblici o privati.

In particolare, nel seguito si presentano le seguenti applicazioni, ciascuna in uno specifico paragrafo:

- una prima analisi ha riguardato le potenzialità di mercato dell'intermodalità ferroviaria a livello italiano e da/verso il resto dell'Europa all'anno 2015, in uno scenario tendenziale di offerta e in diverse ipotesi di crescita economica (paragrafo 4.2). Tale applicazione ha richiesto l'aggiornamento del modello di offerta del DSS così da costruire lo scenario di riferimento al 2015, si è poi applicato il modello gravitazionale al fine di stimare nuove matrici o-d sulla base delle previsioni di variazione del PIL e infine si sono effettuate numerose assegnazioni per definire le linee di desiderio della domanda e individuare le direttrici più promettenti per nuovi servizi ferroviari. Parte dei risultati è stata utilizzata all'interno di un lavoro condotto con KPMG per conto di Interporto Campano e Interporto Bologna;
- una seconda analisi si è soffermata, nell'ambito del trasporto marittimo, sulla valutazione della competitività dei porti italiani - in particolare dell'alto Tirreno e dell'alto Adriatico - rispetto a quelli del nord Europa e sulla stima della domanda potenziale del loro traffico container al 2020, sempre in diverse ipotesi di crescita economica (paragrafo 4.3). A tal fine si è innanzitutto utilizzato estensivamente il modello di offerta per effettuare valutazioni di accessibilità ai porti e del loro conseguente bacino di utenza, sia nello scenario attuale sia in scenari futuri di modifiche del sistema di offerta di trasporto merci utilizzato per l'inoltro terrestre dei container. Successivamente, con il modello di domanda si sono stimati i

TEU/anno emessi e attratti per zona, selezionando le merceologie di interesse per il container e applicando proiezioni di PIL all'orizzonte temporale di progetto. Infine, combinando le analisi di domanda e di offerta, si è stimata la domanda potenziale complessiva del cluster nord-adriatico e la si è confrontata con le prospettive di sviluppo infrastrutturale dichiarate e/o già finanziate dai porti nell'area;

- la terza applicazione ha riguardato un'analisi ampia delle potenzialità dello SSS nel Mediterraneo (paragrafo 4.4), con particolare riferimento all'individuazione di direttrici di interesse per nuovi servizi di tipo Ro-Ro fra l'Italia ed i Paesi dei Balcani e i Paesi della sponda Sud del Mediterraneo rispettivamente, nell'ambito della collaborazione con l'agenzia LOGICA. Per entrambi i progetti è stata inizialmente analizzata la situazione attuale, sia lato offerta sia lato domanda, dopodiché si è proceduto con la verifica di fattibilità di nuove linee stimandone i bacini di domanda e i volumi attratti e quantificandone i costi. Un aspetto interessante è che i due contesti di mercato analizzati sono molto diversi, in particolare per il Mar Adriatico il mercato di sbocco è rappresentato dai Balcani e dall'est Europa ed è caratterizzato da tratte molto corte in cui c'è molta competizione, mentre il collegamento con l'Africa è caratterizzato da tratte molto lunghe e da pochi servizi;
- infine, una quarta applicazione ha riguardato l'analisi dei traffici stradali sui corridoi pan-europei nei Balcani, valutando sia l'effetto dell'ingresso di Romania e Bulgaria nell'UE sia gli interventi progettuali previsti sui corridoi IV, VII e X, in risposta ad una specifica richiesta da parte dell'agenzia LOGICA (paragrafo 4.5). Tale applicazione è concettualmente simile alla prima ed ha richiesto l'aggiornamento dell'offerta allo scenario temporale di progetto, l'applicazione del modello di domanda per la stima delle corrispondenti matrici future ed infine un'assegnazione per il calcolo dei flussi negli scenari di progetto.

Come si nota, tali applicazioni coprono un ventaglio ampio di modalità di trasporto, hanno una diversa copertura geografica e temporale, e hanno richiesto l'utilizzo di parti e dell'intero DSS a seconda dei casi. Inoltre, attraverso esse si è potuto accedere a numerose basi dati che hanno permesso ulteriori validazioni ed affinamenti del DSS, in termini sia di capacità di riprodurre lo scenario attuale sia di elasticità nelle variazioni degli scenari di progetto.

4.2 Mercato intermodale ferroviario nazionale e internazionale dell'Italia

4.2.1 Analisi dello scenario pre-crisi economica: traffici nel biennio 2007-2008

L'analisi delle potenzialità dell'intermodalità ferroviaria nazionale e internazionale dell'Italia è stata condotta assumendo come anni di riferimento base il 2008 e il 2007, ultimi disponibili rispettivamente per le rilevazioni ISTAT e per quelle Trenitalia⁶¹. Questo orizzonte temporale ha anche una valenza di per sé in quanto si tratta dell'ultimo biennio prima dell'inizio della crisi economica che ha interessato la UE.

4.2.1.1 Traffici nazionali

In primo luogo, guardando ai traffici nazionali (cioè con origine e destinazione interne all'Italia), la quota di mercato del trasporto ferroviario risultava appena del 2%, a fronte del 93% del trasporto stradale e del 5% del trasporto marittimo, mentre per i traffici internazionali (cioè in import/export dall'Italia) la quota di mercato rilevata era del 4% a fronte di un 60% del trasporto marittimo e di un 36% del trasporto stradale: tali percentuali sono riprodotte correttamente dal DSS per quanto riguarda i traffici nell'area euro-mediterranea.

Al fine di meglio caratterizzare questi dati, si è quindi provveduto ad effettuare una assegnazione della domanda di trasporto complessiva italiana nazionale alla sola rete stradale, così da rappresentare le cosiddette “linee di desiderio su rete” riportate nella seguente Figura 46. Nella stessa figura, per evidenziare il ruolo dei principali terminali intermodali ferroviari nazionali, è stato anche riportato il traffico in tonnellate/anno dei principali interporti italiani, desunto direttamente dalle corrispondenti statistiche disponibili su internet. In totale, la matrice o-d merci nazionale al 2007 vale 1572 milioni di tonnellate/anno, di cui il 61.2% dei traffici sono intra-nord, il 21.4% intra-centro e sud, il 7.4% sono da/per le isole, il 6.3 sono centro-nord (e viceversa), infine il 2.1% dei traffici sono sull'asse Tirreno-nord e l'1.6% sull'asse Adriatico-nord. Tale dato complessivo può essere poi particolarizzato al calcolo della domanda totale emessa ed attratta da ciascuna regione italiana, conducendo ai tematismi rispettivamente riportati in Figura 47 e Figura 48. Da essi risulta evidente come la domanda sia prevalentemente concentrata nel nord-est e nel nord-ovest, con punte nel sud per Campania e Sicilia.

⁶¹ In seguito alla liberalizzazione del mercato ferroviario, Trenitalia ha peraltro deciso di non rendere più pubblici i suoi dati di traffico merci perché considerati sensibili dal punto di vista commerciale. Nel 2011, durante la fase di completamento della tesi, ISTAT ha fornito alcuni dati più recenti, che confrontati con le previsioni al 2010 effettuate con il DSS hanno fornito riscontri molto soddisfacenti.

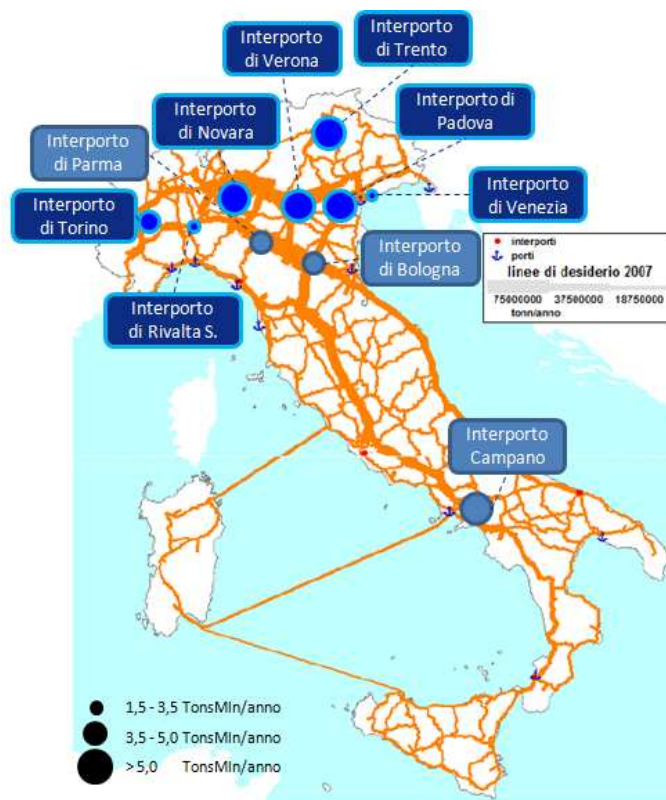


Figura 46 – Linee di desiderio su rete: domanda merci totale nazionale al 2007 [tonn/anno]

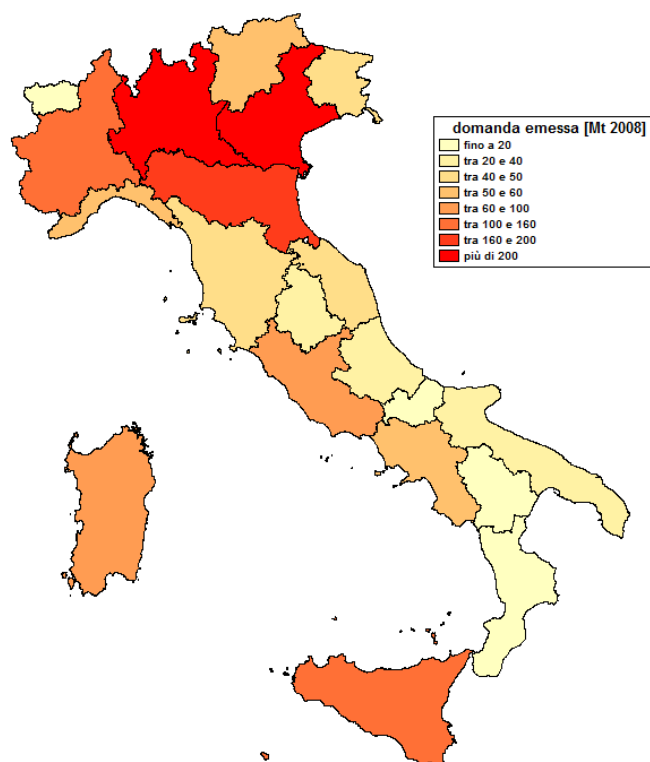


Figura 47 - Domanda totale emessa per regione [milioni di tonnellate, 2008]

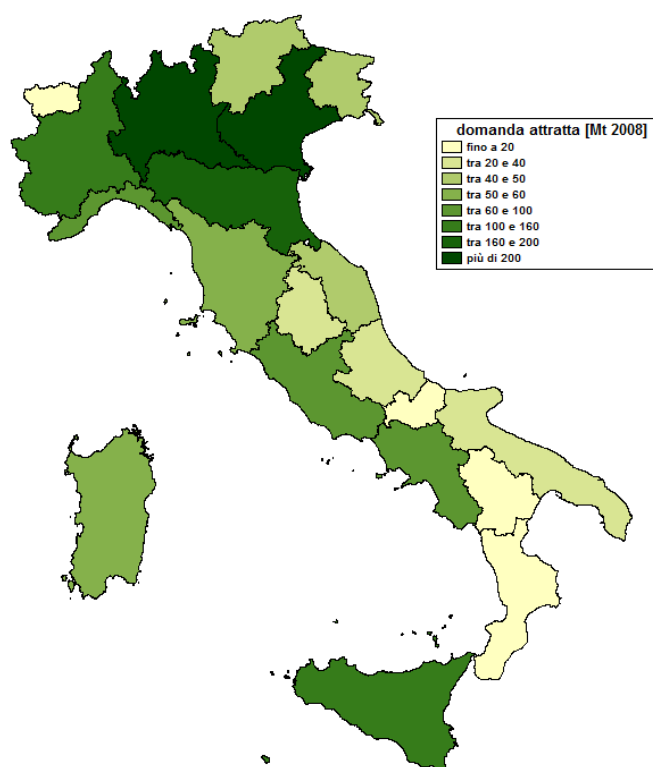


Figura 48 - Domanda totale attratta per regione [milioni di tonnellate, 2008]

Nell'ambito di questo totale, il dettaglio della sola domanda di trasporto ferroviaria è stato rappresentato assegnando la sola matrice o-d ferroviaria nazionale (inclusi i traffici da/verso i porti italiani) alla rete ferroviaria, ottenendo quindi il flussogramma riportato nella seguente Figura 49; in essa, per completezza, sono anche indicati i totali dei traffici ferroviari movimentati da ciascun porto italiano, desunti direttamente dai siti internet delle rispettive Autorità Portuali. Il mercato ferroviario nazionale vale complessivamente 36 milioni di tonnellate/anno, di cui 10 milioni di tonnellate/anno di contenitori, 21 milioni di tonnellate/anno di traffici tradizionali e 5 milioni di tonnellate/anno di trasporto combinato con casse mobili e semirimorchi⁶². Dunque, i traffici intermodali rappresentano circa la metà dei traffici ferroviari nazionali totali: tale dato è però ingannevole, in quanto tutto il traffico contenitori (10 milioni di tonnellate/anno) e circa il 33% del traffico tradizionale (7 milioni di tonnellate/anno) è legato ai porti, e dunque a traffici di carattere internazionale. Per inciso, la quota maggiore spetta ai porti dell'arco nord tirrenico, che assorbono circa il 60% dei traffici totali. L'intermodalità ferroviaria generata da traffici totalmente nazionali è dunque rappresentata da appena 5 milioni di tonnellate/anno di casse mobili e semirimorchi.

⁶² In particolare, i 21 Mt di tradizionale corrispondono a circa 520.000 carri, i 10 Mt di container a 445.000 carri con 530.000 UTI piene e 289.000 UTI vuote, i 5 Mt di combinato a 192.000 carri con 217.000 UTI piene e 140.000 UTI vuote e a 1.500 semirimorchi.



Figura 49 – Linee di desiderio su rete: domanda merci ferroviaria nazionale al 2007 [tonn/anno] e traffici ferroviari complessivi dei porti italiani

Per una più dettagliata analisi dei traffici merci nazionali, si riportano di seguito alcune valutazioni dei traffici in maniera aggregata dal punto di vista geografico, utilizzando la macrozonizzazione del territorio nazionale riportata in Figura 50.



Figura 50 – Zonizzazione per rappresentazione aggregata delle matrici o-d per i traffici nazionali

In particolare, è prima rappresentata la domanda complessiva su tutti i modi e su tutte le categorie merceologiche (Tabella 27), successivamente si propone una disaggregazione in cinque macrobranch merceologiche dal punto di vista delle categorie trasportate (da Tabella 28 a Tabella 32) e infine una disaggregazione per modo di trasporto da Tabella 33 a Tabella 35, rispettivamente per la modalità stradale, ferroviaria e marittima. In tutte le tabelle, i dati sono presentati sia in valori assoluti (in milioni di tonnellate/anno) sia in termini percentuali (rispetto al totale movimentato nazionale), ed i colori nelle tabelle delle percentuali aiutano a identificare i contributi più significativi sul totale.

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	74.20	12.57	0.70	10.95	5.79	3.07	2.68	110.06
Centro Tirreno	9.26	129.58	6.20	15.48	18.72	2.03	6.54	187.82
Isole	1.18	9.48	60.01	7.69	6.90	1.55	8.03	94.97
Nord Est	10.67	14.47	2.62	403.06	62.41	3.60	5.56	502.39
Nord Ovest	6.29	16.50	4.45	63.32	433.09	2.90	5.68	532.46
Sud Adriatico	2.35	2.60	1.77	7.59	5.86	31.64	8.80	60.61
Sud Tirreno	2.95	6.65	5.45	3.74	4.37	5.55	55.33	84.03
Totale	107.04	191.85	81.53	511.82	537.13	50.35	92.61	1572.35

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	4,7%	0,8%	0,0%	0,7%	0,4%	0,2%	0,2%
Centro Tirreno	0,6%	8,3%	0,4%	1,0%	1,1%	0,1%	0,4%
Isole	0,1%	0,6%	3,9%	0,5%	0,4%	0,1%	0,5%
Nord Est	0,7%	0,9%	0,1%	25,7%	4,0%	0,2%	0,3%
Nord Ovest	0,4%	1,0%	0,3%	4,0%	27,5%	0,2%	0,3%
Sud Adriatico	0,1%	0,2%	0,1%	0,5%	0,4%	2,0%	0,6%
Sud Tirreno	0,2%	0,4%	0,3%	0,2%	0,3%	0,3%	3,6%

Tabella 27 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche [2008, milioni di tonnellate/anno e incidenza percentuale sul totale]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	6.63	2.29	0.43	2.24	1.08	0.72	0.92	14.41
Centro Tirreno	1.39	11.98	1.44	2.67	3.64	0.30	1.48	22.90
Isole	0.29	1.21	9.19	0.91	1.00	0.38	1.87	14.98
Nord Est	2.95	4.44	1.30	55.20	15.39	1.30	2.11	82.68
Nord Ovest	1.59	3.98	1.21	11.53	57.83	0.75	1.30	78.41
Sud Adriatico	0.82	0.37	0.66	2.76	-0.17	3.30	2.75	10.49
Sud Tirreno	0.83	1.50	2.64	1.49	1.07	1.36	5.52	14.41
Totale	14.63	25.77	17.20	76.79	79.83	8.12	15.96	238.30

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	8,6%	20,5%	35,1%	23,2%	18,3%	17,3%	34,4%
Centro Tirreno	19,5%	9,6%	19,5%	16,5%	16,3%	10,9%	19,6%
Isole	13,6%	10,6%	16,1%	12,5%	9,7%	27,7%	23,4%
Nord Est	28,5%	29,4%	34,7%	13,8%	24,2%	34,6%	35,0%
Nord Ovest	23,8%	21,4%	17,6%	18,3%	13,1%	23,6%	18,5%
Sud Adriatico	31,3%	18,0%	37,8%	36,2%	12,2%	11,8%	30,5%
Sud Tirreno	26,2%	22,4%	44,3%	38,7%	24,0%	21,2%	11,4%

Tabella 28 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche per la macrobranca 1 (prodotti agricoli e derrate alimentari) [2008, milioni di tonnellate/anno e incidenza percentuale sul totale]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	3,73	0,52	0,01	0,46	0,17	0,33	0,10	5,32
Centro Tirreno	1,27	10,90	1,16	0,72	1,14	0,17	0,39	15,73
Isole	0,69	4,50	7,22	4,31	4,59	0,75	3,93	26,00
Nord Est	0,50	0,66	0,23	14,45	2,29	0,16	0,15	18,44
Nord Ovest	0,27	0,94	1,24	4,83	16,92	0,14	0,30	24,66
Sud Adriatico	0,09	0,05	0,13	0,55	0,77	2,99	0,68	5,27
Sud Tirreno	0,19	0,92	0,49	0,08	0,18	0,71	6,85	9,42
Totale	6,73	18,49	10,48	25,40	26,07	5,25	12,41	104,83

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	5,0%	4,0%	2,4%	4,0%	3,0%	11,6%	3,7%
Centro Tirreno	12,9%	8,4%	19,5%	4,7%	6,3%	8,8%	6,1%
Isole	66,4%	48,6%	11,9%	55,7%	70,3%	46,4%	48,9%
Nord Est	4,6%	4,6%	11,6%	3,6%	3,7%	4,5%	2,9%
Nord Ovest	4,5%	5,9%	31,4%	7,6%	3,9%	5,1%	5,6%
Sud Adriatico	3,9%	2,0%	7,6%	7,2%	11,3%	9,3%	7,8%
Sud Tirreno	6,5%	13,9%	9,6%	2,3%	4,2%	13,4%	12,2%

Tabella 29 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche per la macrobranca 2 (prodotti energetici) [2008, milioni di tonnellate/anno e incidenza percentuale sul totale]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	53,55	6,24	0,04	4,64	2,05	0,41	0,58	67,50
Centro Tirreno	3,53	77,63	0,65	5,69	5,70	0,57	1,89	95,67
Isole	0,11	1,66	32,03	0,96	0,32	0,17	0,56	35,79
Nord Est	3,82	3,29	0,16	255,03	22,68	0,82	0,97	286,77
Nord Ovest	1,99	3,71	0,40	26,29	264,21	0,53	1,38	298,51
Sud Adriatico	0,96	1,10	0,54	2,58	4,26	21,38	4,16	34,99
Sud Tirreno	0,76	1,18	1,07	0,95	1,24	2,10	29,21	36,50
Totale	64,71	94,81	34,89	296,14	300,46	25,98	38,74	855,73

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	72,5%	48,2%	9,9%	40,9%	35,6%	14,4%	21,6%
Centro Tirreno	36,0%	59,7%	11,0%	37,1%	31,7%	29,4%	30,1%
Isole	10,3%	17,9%	52,9%	12,4%	4,8%	10,2%	6,9%
Nord Est	35,3%	23,2%	7,8%	63,2%	36,6%	23,4%	18,2%
Nord Ovest	32,3%	23,3%	10,1%	41,5%	61,2%	18,9%	25,6%
Sud Adriatico	42,8%	40,7%	30,8%	34,1%	62,0%	66,5%	47,8%
Sud Tirreno	26,5%	17,8%	21,2%	25,8%	28,5%	39,5%	52,0%

Tabella 30 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche per la macrobranca 3 (minerali vari e prodotti metallurgici) [2008, milioni di tonnellate/anno e incidenza percentuale sul totale]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	2,35	0,76	0,04	1,28	0,60	0,33	0,14	5,50
Centro Tirreno	0,67	5,32	0,35	1,86	2,91	0,29	0,37	11,77
Isole	0,03	0,39	2,80	1,08	0,40	0,17	0,45	5,32
Nord Est	1,07	1,65	0,26	17,24	5,58	0,41	0,37	26,58
Nord Ovest	0,65	2,00	0,17	5,14	19,82	0,24	0,37	28,39
Sud Adriatico	0,21	0,27	0,12	0,44	0,26	1,25	0,45	3,00
Sud Tirreno	0,24	0,80	0,08	0,17	0,27	0,08	1,60	3,25
Totale	5,23	11,20	3,82	27,21	29,84	2,77	3,75	83,82

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	3,2%	5,9%	10,5%	11,3%	10,4%	11,6%	5,2%
Centro Tirreno	6,9%	4,1%	5,9%	12,1%	16,2%	15,0%	5,8%
Isole	3,1%	4,2%	4,6%	13,9%	6,2%	10,2%	5,6%
Nord Est	9,9%	11,6%	12,7%	4,3%	9,0%	11,7%	6,9%
Nord Ovest	10,6%	12,6%	4,2%	8,1%	4,6%	8,6%	6,9%
Sud Adriatico	9,2%	10,1%	7,0%	5,8%	3,8%	3,9%	5,2%
Sud Tirreno	8,3%	12,0%	1,5%	4,7%	6,3%	1,6%	2,9%

Tabella 31 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche per la macrobranca 4 (prodotti chimici) [2008, milioni di tonnellate/anno e incidenza percentuale sul totale]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	7,95	2,76	0,17	2,33	1,89	1,28	0,94	17,32
Centro Tirreno	2,41	23,75	2,60	4,54	5,33	0,70	2,42	41,74
Isole	0,07	1,73	8,77	0,43	0,59	0,09	1,21	12,88
Nord Est	2,34	4,43	0,67	61,15	16,47	0,91	1,96	87,91
Nord Ovest	1,78	5,86	1,45	15,53	74,31	1,23	2,33	102,49
Sud Adriatico	0,28	0,79	0,30	1,26	0,74	2,73	0,75	6,86
Sud Tirreno	0,93	2,25	1,18	1,05	1,61	1,29	12,15	20,46
Totale	15,75	41,57	15,14	86,29	100,93	8,23	21,76	289,66

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	10,8%	21,3%	42,1%	20,6%	32,8%	45,0%	35,1%
Centro Tirreno	24,6%	18,3%	43,9%	29,6%	29,6%	35,9%	38,4%
Isole	6,6%	18,7%	14,5%	5,5%	9,0%	5,5%	15,1%
Nord Est	21,6%	31,2%	33,2%	15,2%	26,6%	25,8%	36,9%
Nord Ovest	28,8%	36,8%	36,8%	24,5%	17,2%	43,8%	43,3%
Sud Adriatico	12,7%	29,3%	16,8%	16,7%	10,8%	8,5%	8,7%
Sud Tirreno	32,5%	33,9%	23,4%	28,6%	37,0%	24,4%	21,6%

Tabella 32 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche per la macrobranca 5 (macchine e merci varie) [2008, milioni di tonnellate/anno e incidenza percentuale sul totale]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	73.29	12.14	0.30	10.44	5.47	2.65	2.45	106.74
Centro Tirreno	8.88	128.29	0.43	14.45	16.77	1.57	5.77	176.17
Isole	0.18	0.43	53.16	0.46	0.46	0.23	0.78	55.69
Nord Est	10.24	13.14	0.90	397.32	57.11	2.60	4.40	485.70
Nord Ovest	5.98	14.36	0.65	61.00	424.73	2.02	4.58	513.33
Sud Adriatico	1.85	1.58	0.37	2.59	1.92	30.98	8.28	47.57
Sud Tirreno	2.70	5.89	1.41	2.93	2.97	5.42	53.47	74.77
Totale	103.11	175.83	57.21	489.20	509.43	45.47	79.72	1459.97

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	99.5%	94.0%	4.6%	92.6%	93.8%	90.5%	91.1%
Centro Tirreno	92.9%	99.0%	1.3%	96.1%	90.9%	80.8%	90.7%
Isole	3.0%	1.8%	88.8%	7.3%	2.3%	14.1%	9.3%
Nord Est	93.8%	93.2%	15.2%	98.7%	91.5%	75.2%	83.1%
Nord Ovest	95.1%	90.4%	3.7%	95.2%	98.6%	72.7%	80.9%
Sud Adriatico	82.3%	63.3%	14.2%	44.7%	36.8%	98.1%	91.0%
Sud Tirreno	92.7%	87.6%	19.0%	80.8%	66.1%	97.5%	96.9%

Tabella 33 - Matrice o-d dei traffici nazionali stradali [2008, mln di tonn/anno] e incidenza percentuale strada sul totale dei traffici della coppia o-d

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.65	0.43	0.18	0.13	0.30	0.19	0.04	1.92
Centro Tirreno	0.38	0.25	0.09	0.83	1.40	0.16	0.31	3.42
Isole	0.16	0.20	0.49	0.52	0.37	0.01	0.10	1.85
Nord Est	0.22	1.13	0.67	3.72	5.28	0.57	0.64	12.23
Nord Ovest	0.26	1.49	0.53	2.06	8.25	0.42	0.38	13.40
Sud Adriatico	0.21	0.22	0.05	1.14	0.26	0.28	0.17	2.33
Sud Tirreno	0.06	0.03	0.05	0.24	0.27	0.13	0.31	1.08
Totale	1.94	3.75	2.07	8.64	16.13	1.76	1.95	36.23

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	0.2%	6.0%	18.1%	4.1%	5.9%	1.3%	1.6%
Centro Tirreno	7.1%	0.2%	2.7%	2.6%	6.1%	3.7%	1.9%
Isole	1.5%	2.6%	0.7%	6.2%	4.8%	4.8%	1.7%
Nord Est	4.2%	5.4%	32.9%	0.8%	8.5%	12.7%	7.1%
Nord Ovest	4.1%	5.5%	7.5%	4.4%	1.4%	10.9%	5.7%
Sud Adriatico	4.5%	7.2%	9.7%	4.2%	9.7%	0.7%	5.0%
Sud Tirreno	0.6%	1.4%	1.9%	3.7%	7.7%	2.3%	0.4%

Tabella 34 - Matrice o-d dei traffici nazionali ferroviari [2008, mln di tonn/anno] e incidenza percentuale ferro sul totale dei traffici della coppia o-d

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.26	0.00	0.21	0.37	0.02	0.23	0.19	1.40
Centro Tirreno	0.00	1.04	5.68	0.20	0.54	0.30	0.46	8.23
Isole	0.85	8.85	6.36	6.70	6.07	1.32	7.15	37.44
Nord Est	0.22	0.20	1.05	2.02	0.02	0.43	0.52	4.46
Nord Ovest	0.05	0.65	3.27	0.25	0.11	0.46	0.72	5.73
Sud Adriatico	0.30	0.80	1.35	3.87	3.68	0.39	0.34	10.72
Sud Tirreno	0.19	0.73	3.99	0.57	1.14	0.01	1.55	8.18
Totale	1.99	12.27	22.25	13.98	11.57	3.13	10.94	76.14

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno
Centro Adriatico	0.4%	0.0%	77.3%	3.3%	0.3%	8.2%	7.2%
Centro Tirreno	0.0%	0.8%	96.0%	1.3%	3.0%	15.5%	7.3%
Isole	95.5%	95.6%	10.5%	86.6%	92.8%	81.1%	89.0%
Nord Est	2.0%	1.4%	51.9%	0.5%	0.0%	12.1%	9.8%
Nord Ovest	0.7%	4.1%	88.8%	0.4%	0.0%	16.3%	13.4%
Sud Adriatico	13.2%	29.5%	76.2%	51.1%	53.5%	1.2%	3.9%
Sud Tirreno	6.7%	11.0%	79.2%	15.5%	26.1%	0.2%	2.8%

Tabella 35 - Matrice o-d dei traffici nazionali marittimi [2008, mln di tonn/anno] e incidenza percentuale mare sul totale dei traffici della coppia o-d

Guardando ai dati percentuali di Tabella 34, la quota modale della ferrovia assume valori più rilevanti se ci si riferisce alle percorrenze medio/lunghe, dove trova d'altra parte il suo naturale campo di applicazione. Per questo motivo, sfruttando le potenzialità del DSS, è stata assegnata la sola parte di domanda totale nazionale corrispondente alle coppie o-d che esprimono almeno 50.000 tonnellate/anno e che si trovano ad una distanza di almeno 300 km, corrispondenti rispettivamente alla capacità annua complessiva di un servizio ferroviario intermodale con cadenza settimanale e alla distanza minima usuale di convenienza oltre la quale l'intermodalità ferroviaria può essere competitiva rispetto al tutto strada. I risultati sono riportati nella seguente Figura 51 in termini di linee di desiderio su rete e tra coppie o-d.

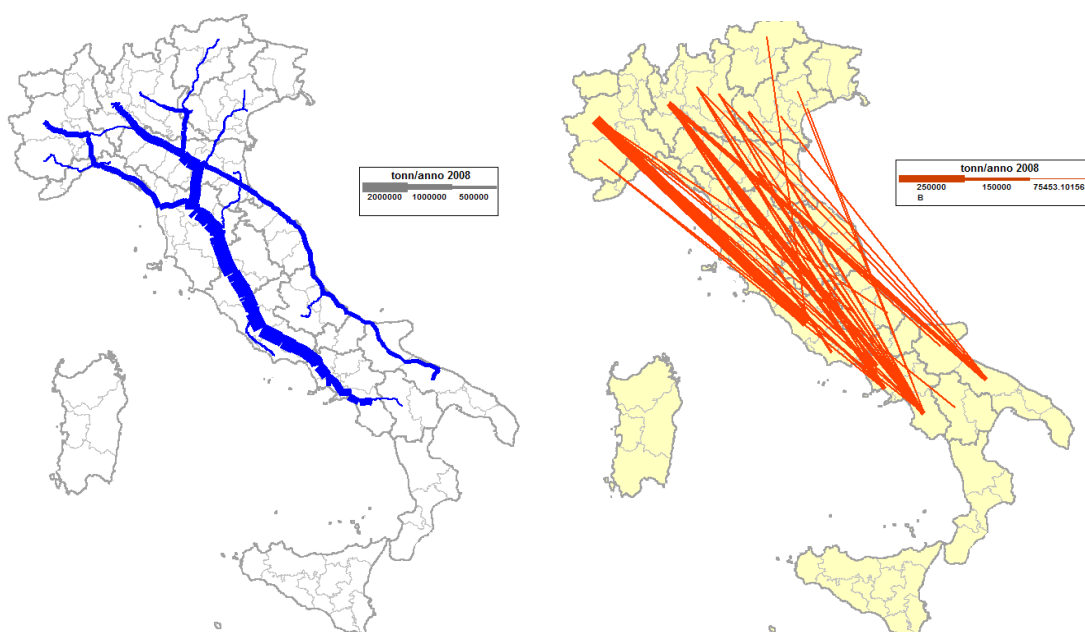


Figura 51 - Linee di desiderio su rete (a sinistra) e per coppia o-d (a destra), traffici con volumi annui di almeno 50.000 t e distanza superiore a 300 km

Inoltre, un aspetto rilevante della domanda ai fini della valutazione delle possibilità di penetrazione di mercato di servizi intermodali ferroviari è rappresentato dal livello di sbilanciamento della domanda tra viaggi di andata e ritorno, che incide sulla probabilità di ritorno a vuoto e quindi sull'efficienza economica del servizio. A tal fine, le elaborazioni precedentemente riportate sono state analizzate in termini di sbilanciamento dei flussi di arco e di o-d (Figura 52), fornendo ulteriori indicazioni utili a fini progettuali: ad esempio, emerge come la direttrice tirrenica esprime volumi di flusso maggiori ma è più sbilanciata, mentre la direttrice adriatica esprime meno volumi ma più bilanciati.

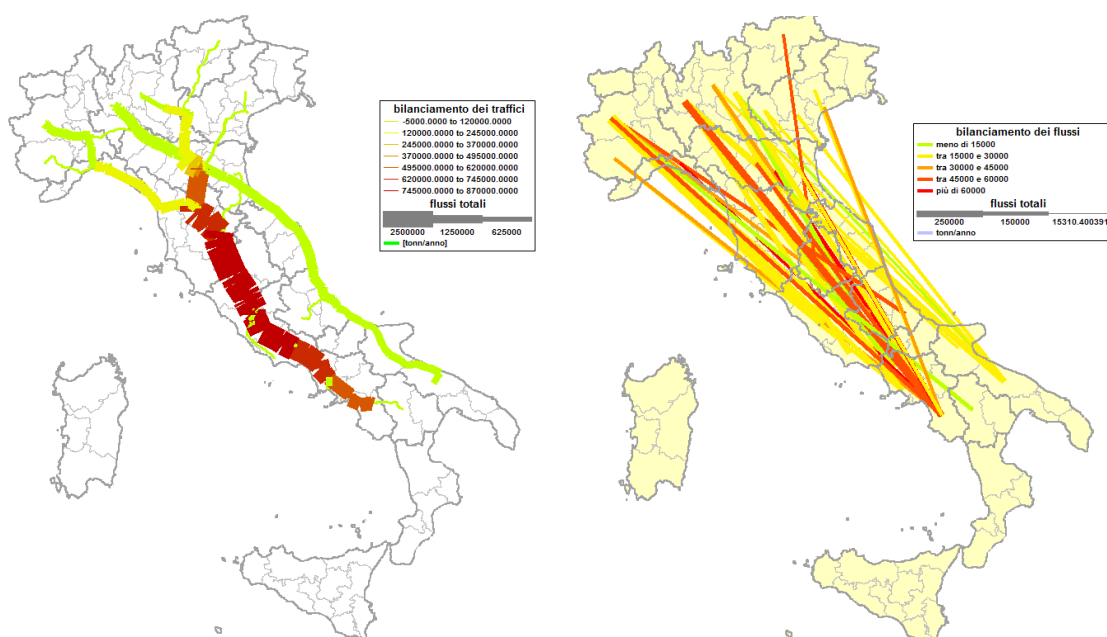


Figura 52 - Linee di desiderio su rete (a sinistra) e per coppia o-d (a destra) – bilanciamento dei volumi, traffici con volumi annui di almeno 50.000 t e distanza superiore a 300 km

4.2.1.2 Traffici internazionali

La stessa tipologia di analisi condotta nel paragrafo precedente con riferimento ai traffici nazionali è stata estesa al bacino euro-mediterraneo del DSS in generale e in particolare al bacino dell'Europa di interesse per servizi intermodali ferroviari internazionali con origine o destinazione in Italia. A tal fine, è stata adottata la macrozonizzazione riportata nella seguente Figura 53, cui si riferiscono i dati aggregati riportati in Tabella 36. Complessivamente, al 2009 sono osservate 226 milioni di tonnellate/anno di import e 105 milioni di tonnellate/anno di export. In generale, il 39% dei flussi internazionali è da/verso la penisola Iberica, la Francia, il Belgio e l'UK; il 20% da/verso l'Europa centrale; il 10% da/verso la Russia ed il Baltico. Una rappresentazione delle linee di desiderio su rete per l'area di maggior interesse per l'intermodalità ferroviaria internazionale dell'Italia è riportata in Figura 54.

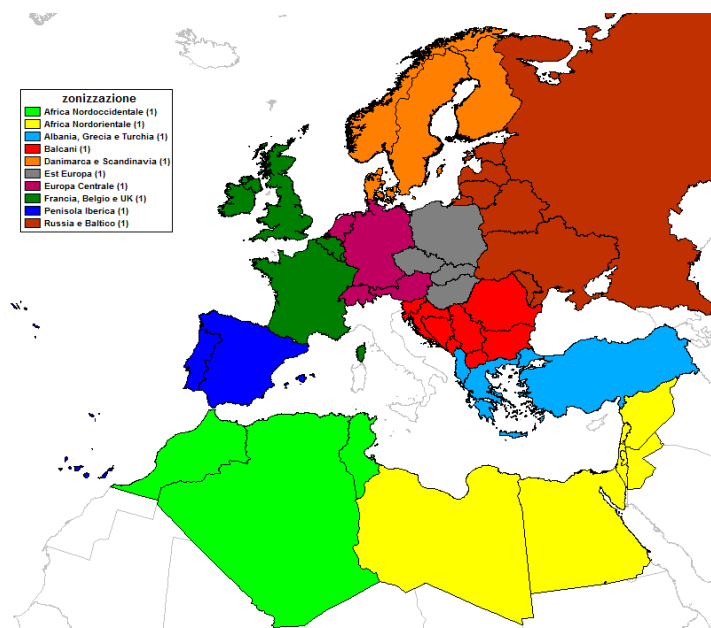


Figura 53 - Zonizzazione per rappresentazione aggregata matrici o-d, traffici internazionali

zona	esportazioni			importazioni		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009
Africa Nordoccidentale	5.12	5.49	5.34	4.88	4.06	21.47
Africa Nordorientale	7.11	7.73	7.40	38.41	36.52	37.18
Albania, Grecia e Turchia	9.56	9.30	8.46	8.89	9.18	9.14
Balcani, Romania e Bulgaria	10.08	10.23	7.95	16.07	14.98	14.96
Danimarca e Scandinavia	3.39	3.52	2.30	7.26	6.48	9.40
Est Europa	6.68	6.75	6.07	9.66	8.91	9.20
Europa Centrale	31.19	29.71	28.40	44.39	41.87	44.05
Francia, Belgio e UK	36.03	29.23	24.96	41.80	39.74	30.53
Penisola Iberica	16.96	19.68	13.20	9.22	10.45	9.43
Russia e Baltico	2.43	2.66	1.54	34.97	28.78	41.62
<i>Totale</i>	128.54	124.30	105.61	215.55	200.97	226.97

Tabella 36 – Import/export italiano verso il bacino Euro-Mediterraneo dal 2007 al 2009 [milioni di tonnellate/anno]

Guardando più in dettaglio alla sola domanda di trasporto ferroviaria, l'Italia ha espresso nel 2008 32 milioni di tonnellate/anno di import, di cui 3 milioni di tonn/anno di contenitori, 18 milioni di tonn/anno di traffici tradizionale e 11 milioni di tonn/anno di trasporto combinato di casse mobili e semirimorchi. Lato export, invece, sono state registrate 20 milioni di tonnellate/anno di export, di cui 1 milione di tonn/anno di container, 8 milioni di tonn/anno di tradizionale e 11 milioni di tonn/anno di casse mobili e semirimorchi. Come in precedenza, tali dati (ricavati da fonti disponibili quali ISTAT, Trenitalia, dati di transito ai valichi alpini, ecc...) sono stati anche utilizzati per validare il DSS nella sua capacità di riprodurre lo scenario attuale. L'assegnazione di tale domanda al modello di offerta ferroviario del DSS ha poi prodotto i flussi su rete riportati nella seguente Figura 55, che evidenzia anche la posizione dei principali valichi alpini e degli interporti ad essi in qualche modo collegati.

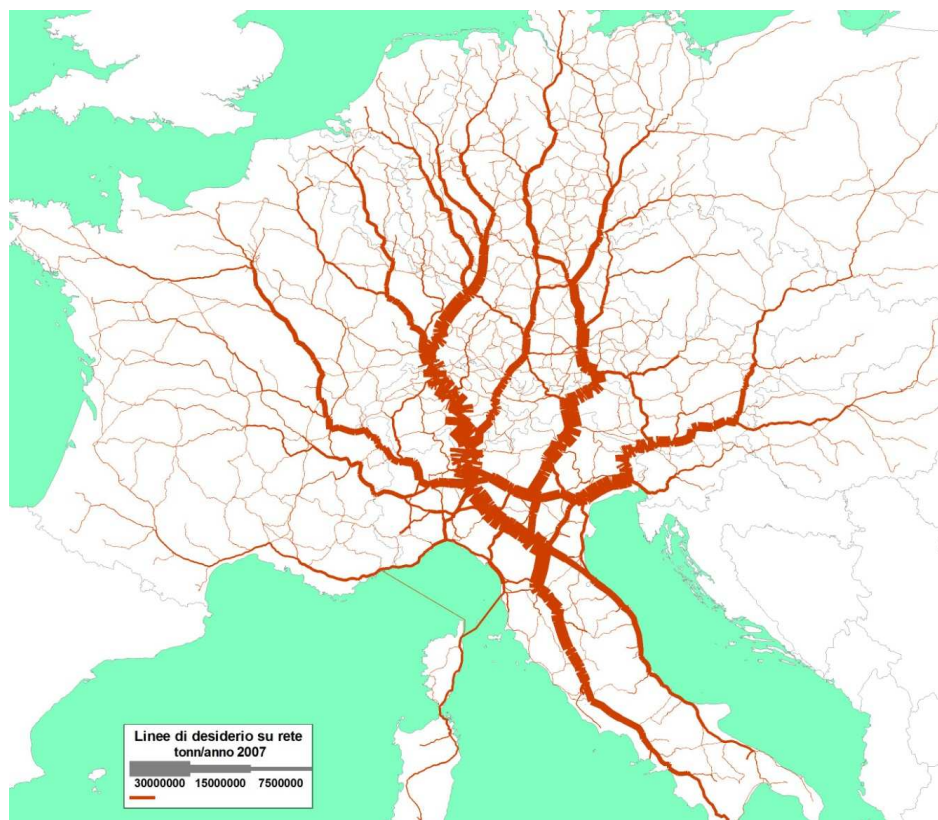


Figura 54 – Linee di desiderio su rete, traffici internazionali tra Italia e Europa Centro-Orientale di interesse per l'intermodalità ferroviaria (flussi al 2007, milioni di tonnellate/anno)

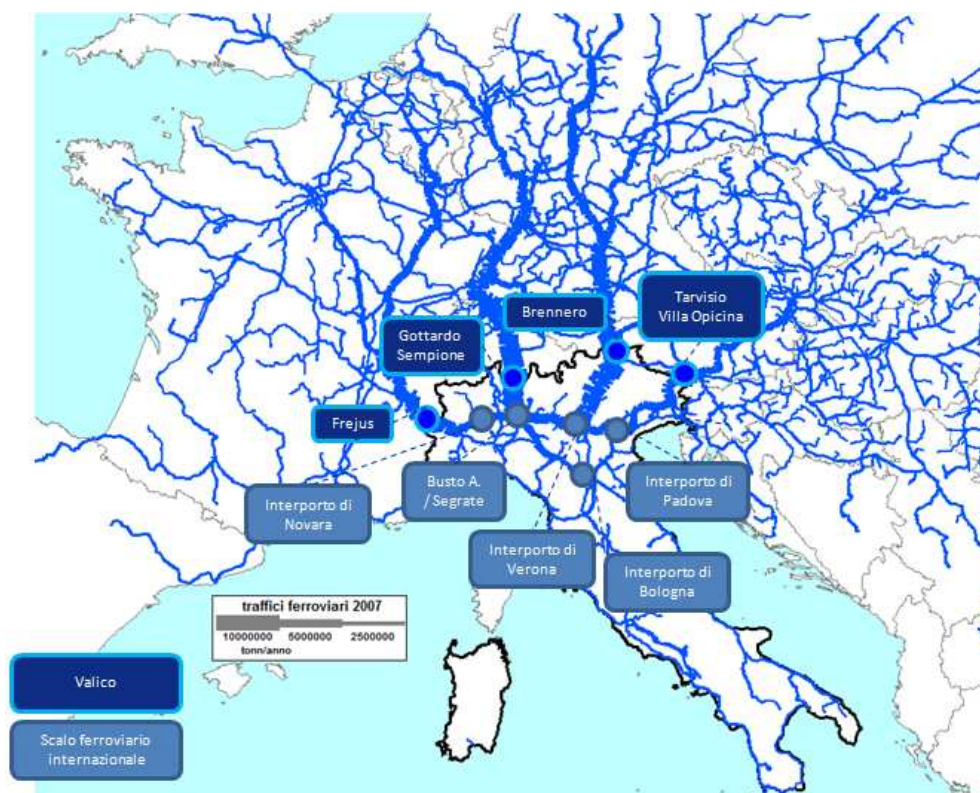


Figura 55 – Linee di desiderio su rete, traffici internazionali ferroviari tra Italia e Europa Centro-Orientale e indicazione dei principali valichi e relativi terminali (flussi al 2007, milioni di tonnellate/anno)

4.2.2 Analisi dello scenario di domanda intermodale ferroviaria al 2010 e al 2015

4.2.2.1 Metodologia

I dati di domanda e le analisi su rete riportate nei paragrafi 4.2.1.1 e 4.2.1.2 rispettivamente per i traffici nazionali ed internazionali dell'Italia hanno rappresentato la base per la valutazione di uno scenario al 2010⁶³ e al 2015 dell'intermodalità ferroviaria italiana. A tal fine si è fatto uso del DSS implementato durante la tesi, ed in particolare del modello gravitazionale, grazie al quale si sono calcolate le matrici origine-destinazione future, e del modello di scelta modale con il quale si sono calcolate le variazioni di quote modali per coppia o-d.

In particolare, il primo passo ha riguardato l'aggiornamento dei valori di PIL a prezzi costanti normalizzati al 2000 all'interno dell'area di studio: tale attività è stata condotta a livello nazionale per gli Stati dell'area di studio di Figura 18 ed a livello regionale per l'Italia. A tal fine, utilizzando i tassi medi annui di crescita del PIL dal 2004 al 2007 e i tassi nel periodo di crisi 2008-2009, si sono proiettati i valori di PIL al 2010 e al 2015 in ipotesi di crescita alta e di crescita bassa. In particolare, nell'ipotesi alta si è applicato il tasso di crescita del periodo 2004-2007, mentre nell'ipotesi bassa dal 2010 si è applicato il 65% del tasso di crescita del periodo 2004-2007⁶⁴. A titolo di esempio, le variazioni complessive di PIL sono riportate per i vari scenari in Tabella 37 per le regioni italiane. Le variazioni di PIL così calcolate per ciascuno scenario sono poi state utilizzate con l'approccio indicato dalla (3.20) per determinare attraverso il modello gravitazionale le variazioni percentuali di domanda su tutti i modi da applicare poi in pivoting con la (3.16) alla matrice o-d attuale tutti i modi.

Lato offerta, invece, non sono state effettuate modifiche né nelle infrastrutture stradali, ritenendo che solo dopo la fine del periodo di recessione si riprenderanno gli investimenti di settore, né nel marittimo, in cui l'offerta di servizi non ha subito sostanziali contrazioni; si è invece intervenuto riducendo opportunamente la disponibilità di servizi ferroviari, sulla base di dati osservati nel periodo 2007-2010 e ritenendo per il 2015 che la ripresa della domanda determini una condizione di nuova offerta di servizi sostanzialmente analoga a quella pre-crisi

⁶³ È da notare che le analisi sono state condotte a cavallo tra il secondo semestre del 2010 e il primo semestre del 2011, quando i dati di domanda relativi all'anno 2010 non sono ancora disponibili o comunque non consolidati dalle fonti di rilevazione statistica che li forniscono regolarmente. È inoltre da ricordare che dal 2008 Trenitalia non fornisce più tutti i dati di domanda e di traffico a sua disposizione, e dunque una analisi come quella condotta nel presente paragrafo si rivela per forza necessaria.

⁶⁴ Il 65% è la riduzione osservata tra il tasso di crescita prima del 2001 e quello del periodo 2004-2007 successivo alla recessione economica del periodo 2001-2003.

del 2007.

La nuova domanda, assegnata all'offerta di trasporto, permette quindi di rilevare flussi su rete e di effettuare tutte le valutazioni progettuali del caso, presentate in maniera differenziata nei seguenti sottoparagrafi per l'ambito nazionale (paragrafo 4.2.2.2) e internazionale (paragrafo 4.2.2.3).

zona	regione	tasso medio di crescita annuo nel periodo 2004 - 2007	variazione osservata 2009 - 2007 %	ipotesi di crescita alta			ipotesi di crescita bassa		
				2010 - 2007 %	2015 - 2007 %	2015 - 2010 %	2010 - 2007 %	2015 - 2007 %	2015 - 2010 %
Centro Adriatico	Umbria	1.58%	-7.27%	-5.80%	1.89%	8.17%	-6.32%	-1.40%	5.25%
	Marche	1.84%	-5.53%	-3.79%	5.39%	9.54%	-4.40%	1.46%	6.12%
	Abruzzo	1.00%	-8.09%	-7.17%	-2.41%	5.12%	-7.49%	-4.43%	3.31%
Centro Tirreno	Toscana	1.24%	-5.03%	-3.85%	2.27%	6.37%	-4.26%	-0.34%	4.10%
	Lazio	2.22%	-3.96%	-1.83%	9.57%	11.61%	-2.58%	4.62%	7.43%
Isole	Sicilia	0.96%	-4.25%	-3.33%	1.38%	4.87%	-3.65%	-0.62%	3.15%
	Sardegna	0.70%	-3.88%	-3.21%	0.22%	3.55%	-3.45%	-1.23%	2.30%
Nord Est	Trentino-Alto Adige	1.66%	-2.16%	-0.54%	7.99%	8.58%	-1.10%	4.35%	5.51%
	Veneto	1.95%	-6.79%	-4.97%	4.64%	10.11%	-5.61%	0.51%	6.48%
	Friuli-Venezia Giulia	1.89%	-7.37%	-5.62%	3.65%	9.83%	-6.23%	-0.32%	6.30%
	Emilia-Romagna	1.93%	-7.58%	-5.80%	3.63%	10.01%	-6.42%	-0.42%	6.42%
Nord Ovest	Piemonte	1.38%	-7.73%	-6.46%	0.18%	7.10%	-6.91%	-2.65%	4.57%
	Valle d'Aosta	0.87%	-3.24%	-2.40%	1.94%	4.44%	-2.70%	0.10%	2.87%
	Lombardia	1.35%	-8.03%	-6.79%	-0.34%	6.92%	-7.23%	-3.09%	4.46%
	Liguria	1.22%	-4.02%	-2.86%	3.20%	6.23%	-3.26%	0.62%	4.02%
Sud Adriatico	Molise	1.76%	-3.50%	-1.80%	7.17%	9.14%	-2.40%	3.33%	5.87%
	Puglia	0.91%	-6.32%	-5.47%	-1.07%	4.65%	-5.77%	-2.94%	3.00%
	Campania	0.57%	-7.64%	-7.11%	-4.42%	2.90%	-7.30%	-5.56%	1.88%
Sud Tirreno	Basilicata	1.18%	-5.37%	-4.26%	1.53%	6.04%	-4.65%	-0.93%	3.89%
	Calabria	0.55%	-5.05%	-4.53%	-1.86%	2.80%	-4.71%	-2.99%	1.81%
ITALIA		1.40%	-6.29%	-5.02%	2.12%	7.51%	-5.49%	-0.93%	4.82%

Tabella 37 – Proiezioni di crescita del PIL delle regioni italiane

4.2.2.2 Traffici nazionali

Complessivamente, nel triennio 2007-2010 il modello gravitazionale prevede che i traffici merci totali subiscano un calo di oltre l'8% (volume totale di 1.454 milioni tonnellate/anno), a fronte di una riduzione del PIL di circa il 5.5%; il nord-ovest è l'area con le perdite maggiori, pari a oltre il 10% del totale. Una rappresentazione delle linee di desiderio su rete al 2010 con esplicita rappresentazione delle variazioni percentuali rispetto al 2007 è riportata nella seguente Figura 56. Guardando in dettaglio ai traffici ferroviari, nel triennio 2007-2010 il ferro ha perso circa il 25%, ovvero più del doppio rispetto al traffico stradale; in termini di tonnellate, si scende a 28 milioni di tonnellate/anno di cui 9 milioni di tonnellate/anno di contenitori (-15%), 15 milioni di tonnellate/anno di tradizionale (-27%) e 4 milioni di tonnellate/anno di trasporto combinato (-14%). In termini di flussi su rete, come riportato in Figura 57, l'asse adriatico ha perso fino al 30% dei traffici ferroviari mentre l'asse tirrenico ha contenuto le perdite al 20% - 25%.

In dettaglio, i flussi al 2010 e le variazioni rispetto al 2007 sono riportate in Tabella 38 in termini totali, da Tabella 39 a Tabella 41 per modalità di trasporto e in Tabella 42 come dettaglio per tipologia di traffico ferroviario.



Figura 56 – Linee di desiderio su rete, traffici nazionali totali al 2010: valori assoluti (spessori) e variazione percentuale sulle direttrici rispetto al 2007 (scale di colori)



Figura 57 – Assegnazione della domanda di trasporto su ferrovia, traffici nazionali al 2010: valori assoluti (spessori) e variazione percentuale sulle direttrici rispetto al 2007 (scale di colori)

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	68.80	11.71	0.73	10.10	5.23	2.79	2.44	101.81
Centro Tirreno	8.65	123.75	5.88	14.37	17.28	1.90	6.07	177.90
Isole	1.21	9.01	57.26	7.13	6.49	1.46	7.47	90.03
Nord Est	9.82	13.32	2.35	375.00	56.45	3.23	4.98	465.16
Nord Ovest	5.69	15.10	4.33	57.73	395.41	2.58	5.10	485.95
Sud Adriatico	2.14	2.43	1.65	6.81	5.40	29.61	8.13	56.17
Sud Tirreno	2.68	6.17	5.05	3.38	3.94	5.11	50.73	77.06
Totale	98.99	181.49	77.25	474.53	490.20	46.68	84.93	1454.07

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	-7.3%	-6.8%	4.5%	-7.7%	-9.6%	-9.1%	-8.9%	-7.5%
Centro Tirreno	-6.7%	-4.5%	-5.1%	-7.2%	-7.7%	-6.5%	-7.2%	-5.3%
Isole	2.1%	-5.0%	-4.6%	-7.2%	-5.9%	-6.2%	-6.9%	-5.2%
Nord Est	-8.0%	-7.9%	-10.2%	-7.0%	-9.5%	-10.3%	-10.4%	-7.4%
Nord Ovest	-9.5%	-8.5%	-2.7%	-8.8%	-8.7%	-10.9%	-10.2%	-8.7%
Sud Adriatico	-8.9%	-6.6%	-6.8%	-10.3%	-7.8%	-6.4%	-7.5%	-7.3%
Sud Tirreno	-9.1%	-7.2%	-7.4%	-9.6%	-9.8%	-8.0%	-8.3%	-8.3%
Totale	-7.5%	-5.4%	-5.3%	-7.3%	-8.7%	-7.3%	-8.3%	-7.5%

Tabella 38 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche [2010, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2008]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	68.06	11.36	0.28	9.66	5.00	2.43	2.23	99.01
Centro Tirreno	8.34	122.55	0.40	13.53	15.67	1.49	5.40	167.37
Isole	0.16	0.41	50.79	0.43	0.43	0.21	0.73	53.17
Nord Est	9.45	12.24	0.84	370.32	52.36	2.40	4.02	451.64
Nord Ovest	5.45	13.30	0.60	55.91	388.94	1.84	4.15	470.19
Sud Adriatico	1.71	1.50	0.34	2.39	1.76	29.04	7.69	44.43
Sud Tirreno	2.46	5.46	1.31	2.67	2.68	5.00	49.09	68.68
Totale	95.64	166.83	54.56	454.91	466.84	42.41	73.30	1354.50

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	-7.1%	-6.4%	-7.1%	-7.5%	-8.7%	-8.3%	-8.9%	-7.2%
Centro Tirreno	-6.1%	-4.5%	-5.1%	-6.4%	-6.6%	-5.1%	-6.5%	-5.0%
Isole	-6.3%	-5.1%	-4.5%	-6.1%	-7.0%	-5.9%	-6.5%	-4.5%
Nord Est	-7.6%	-6.8%	-7.3%	-6.8%	-8.3%	-7.7%	-8.6%	-7.0%
Nord Ovest	-8.7%	-7.4%	-8.6%	-8.3%	-8.4%	-9.0%	-9.4%	-8.4%
Sud Adriatico	-7.3%	-5.0%	-6.6%	-7.5%	-8.3%	-6.3%	-7.2%	-6.6%
Sud Tirreno	-8.9%	-7.2%	-7.0%	-8.8%	-9.5%	-7.7%	-8.2%	-8.1%
Totale	-7.2%	-5.1%	-4.6%	-7.0%	-8.4%	-6.7%	-8.1%	-7.2%

Tabella 39 - Matrice o-d traffici nazionali stradali tra macroaree geografiche [2010, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2008]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.24	0.00	0.30	0.35	0.01	0.22	0.18	1.30
Centro Tirreno	0.00	0.99	5.40	0.19	0.52	0.28	0.43	7.81
Isole	0.92	8.43	6.06	6.29	5.78	1.24	6.67	35.37
Nord Est	0.20	0.19	0.98	1.86	0.02	0.39	0.48	4.12
Nord Ovest	0.04	0.62	3.32	0.24	0.10	0.43	0.67	5.42
Sud Adriatico	0.27	0.75	1.26	3.56	3.44	0.36	0.32	9.96
Sud Tirreno	0.18	0.68	3.70	0.53	1.06	0.01	1.41	7.56
Totale	1.85	11.65	21.02	13.00	10.94	2.93	10.16	71.54

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	-7.7%	-8.1%	42.9%	-7.2%	-9.4%	-6.8%	-6.7%	-7.0%
Centro Tirreno	-6.1%	-5.1%	-4.9%	-6.5%	-4.8%	-6.5%	-6.2%	-5.1%
Isole	8.2%	-4.7%	-4.8%	-6.2%	-4.8%	-6.1%	-6.8%	-5.5%
Nord Est	-7.5%	-7.1%	-6.7%	-8.1%	-6.6%	-8.0%	-7.5%	-7.6%
Nord Ovest	-6.2%	-5.0%	1.6%	-6.2%	-4.4%	-5.9%	-6.9%	-5.4%
Sud Adriatico	-8.3%	-6.7%	-6.5%	-7.9%	-6.3%	-7.4%	-7.2%	-7.1%
Sud Tirreno	-6.6%	-6.8%	-7.4%	-7.2%	-6.6%	-6.9%	-9.2%	-7.5%
Totale	-7.2%	-5.1%	-5.5%	-7.0%	-5.5%	-6.6%	-7.1%	-6.0%

Tabella 40 - Matrice o-d traffici nazionali marittimi tra macroaree geografiche [2010, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2008]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.50	0.35	0.15	0.10	0.22	0.14	0.03	1.49
Centro Tirreno	0.31	0.21	0.08	0.65	1.10	0.13	0.24	2.72
Isole	0.12	0.17	0.41	0.41	0.29	0.01	0.08	1.49
Nord Est	0.17	0.89	0.53	2.83	4.07	0.44	0.48	9.40
Nord Ovest	0.19	1.18	0.42	1.59	6.36	0.31	0.28	10.33
Sud Adriatico	0.16	0.18	0.04	0.86	0.19	0.21	0.13	1.78
Sud Tirreno	0.04	0.03	0.04	0.18	0.19	0.10	0.24	0.81
Totale	1.49	3.02	1.67	6.61	12.42	1.34	1.48	28.03

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	-22.9%	-18.6%	-20.2%	-24.1%	-26.3%	-22.9%	-22.7%	-22.3%
Centro Tirreno	-19.5%	-16.2%	-15.1%	-20.9%	-21.7%	-19.4%	-21.4%	-20.5%
Isole	-21.2%	-14.4%	-15.4%	-20.9%	-22.8%	-19.7%	-19.4%	-19.1%
Nord Est	-24.4%	-20.6%	-19.8%	-24.1%	-22.9%	-24.1%	-25.0%	-23.1%
Nord Ovest	-27.0%	-20.6%	-21.9%	-23.1%	-22.9%	-25.4%	-26.5%	-22.9%
Sud Adriatico	-23.9%	-17.5%	-17.5%	-24.7%	-25.0%	-23.5%	-24.3%	-23.6%
Sud Tirreno	-26.9%	-19.5%	-19.0%	-24.6%	-27.2%	-23.7%	-25.2%	-25.0%
Totale	-23.1%	-19.6%	-19.1%	-23.4%	-23.0%	-23.7%	-24.4%	-22.6%

Tabella 41 - Matrice o-d traffici nazionali ferroviari tra macroaree geografiche [2010, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2008]

Combinato [milioni di tonn/anno 2010]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.06	0.22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.30
Centro Tirreno	0.22	0.03	0.01	0.06	0.32	0.03	0.00	0.68
Isole	0.00	0.13	0.08	0.26	0.07	0.00	0.02	0.56
Nord Est	0.00	0.09	0.28	0.08	0.05	0.11	0.07	0.68
Nord Ovest	0.00	0.49	0.15	0.15	0.18	0.25	0.09	1.30
Sud Adriatico	0.02	0.01	0.00	0.35	0.11	0.16	0.00	0.64
Sud Tirreno	0.00	0.00	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00	0.11
Totale	0.31	0.98	0.52	0.92	0.82	0.55	0.18	4.28

Tradizionale [milioni di tonn/anno 2010]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.17	0.13	0.15	0.10	0.21	0.09	0.01	0.84
Centro Tirreno	0.08	0.17	0.06	0.43	0.61	0.10	0.24	1.70
Isole	0.12	0.04	0.32	0.15	0.18	0.01	0.06	0.88
Nord Est	0.17	0.12	0.22	2.27	1.88	0.20	0.28	5.14
Nord Ovest	0.19	0.44	0.21	0.51	3.94	0.07	0.16	5.52
Sud Adriatico	0.09	0.12	0.04	0.43	0.09	0.06	0.02	0.84
Sud Tirreno	0.03	0.03	0.04	0.11	0.06	0.01	0.10	0.37
Totale	0.83	1.04	1.05	4.00	6.96	0.52	0.88	15.29

Container [tonn/anno 2010]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.27	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.01	0.35
Centro Tirreno	0.01	0.00	0.00	0.16	0.17	0.01	0.00	0.34
Isole	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.05
Nord Est	0.00	0.68	0.03	0.47	2.13	0.13	0.13	3.58
Nord Ovest	0.01	0.25	0.06	0.93	2.24	0.00	0.03	3.52
Sud Adriatico	0.05	0.05	0.00	0.08	0.00	0.00	0.11	0.29
Sud Tirreno	0.02	0.00	0.00	0.05	0.04	0.09	0.13	0.33
Totale	0.35	0.99	0.10	1.70	4.64	0.27	0.41	8.46

Tabella 42 - Matrice o-d traffici nazionali ferroviari tra macroaree geografiche, dettaglio della tipologia di traffico ferroviario [2010, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto]

Nel quinquennio 2010-2015 le previsioni restituiscono invece una crescita dei traffici merci totali di oltre il 10%, a fronte di un aumento di PIL variabile tra il 4.5 e il 7% a seconda delle ipotesi di ripresa economica: tale crescita sarà maggiore nel nord-est, con più del 15% di aumento dei traffici, gli assi tirrenico ed adriatico cresceranno di oltre il 10%, mentre i traffici interni al sud Italia non recupereranno i volumi raggiunti nel 2007, con un differenziale negativo compreso tra il -4% e il -8% a seconda delle ipotesi sulla crescita economica. In particolare, le linee di desiderio su rete relative alle oltre 1.600 milioni di tonnellate/anno

trasportate sono riportate in Figura 58.

Per quanto riguarda il trasporto ferroviario, le analisi indicano che nel quinquennio 2010-2015 crescerà più del doppio rispetto alla strada (+43%). I 40 milioni di tonnellate/anno trasportate saranno ripartite in 13 milioni di tonnellate/anno di contenitori (+54%), 22 milioni di tonnellate/anno di tradizionale (+44%) e 5 milioni di tonnellate/anno di trasporto combinato (+17%). L'assegnazione complessiva all'offerta ferroviaria è riportata in Figura 59, dalla quale si evince che i traffici ferroviari cresceranno più al centro-nord (fino al 40%-50%), mentre la crescita stimata per gli assi tirrenico ed adriatico sarà del 30%-40% e comunque i traffici intra-sud non recupereranno i volumi raggiunti nel 2007.

I traffici in dettaglio tra le macrozone di Figura 50 sono riportati in termini totali in Tabella 43 (variazioni rispetto al 2007) e Tabella 44 (variazioni rispetto al 2010). Inoltre, i flussi per modo di trasporto sono riportati per la strada in Tabella 45 (variazioni rispetto al 2007) e Tabella 46 (variazioni rispetto al 2010) e, analogamente, in Tabella 47 e Tabella 48 per il marittimo e in Tabella 49 e Tabella 50 per la ferrovia. Infine, in Tabella 51 sono riportati i risultati di dettaglio per tipologia di traffico ferroviario.

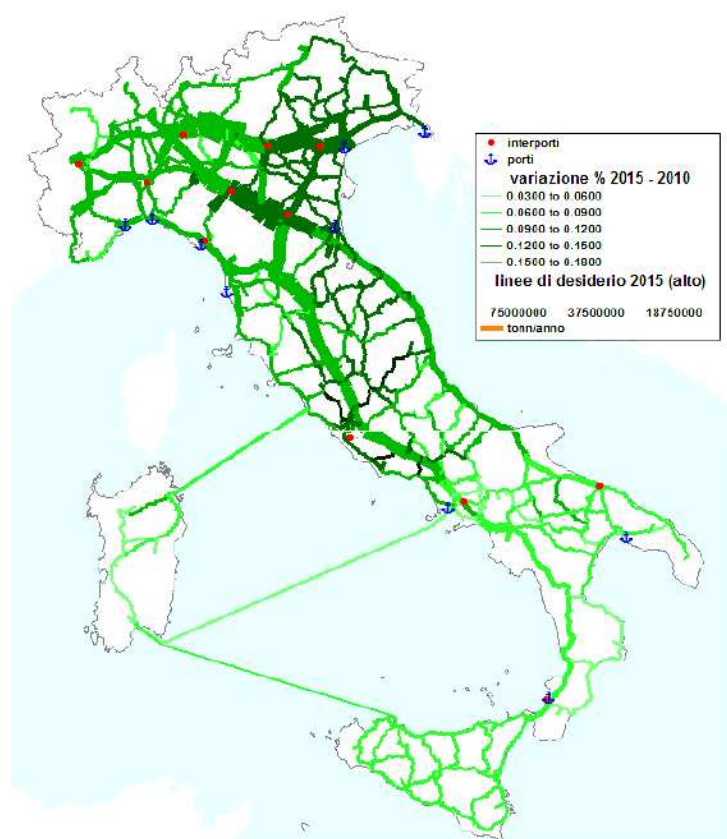


Figura 58 – Linee di desiderio su rete, traffici nazionali totali al 2015: valori assoluti (spessori) e variazione percentuale sulle direttrici rispetto al 2010 (scale di colori)

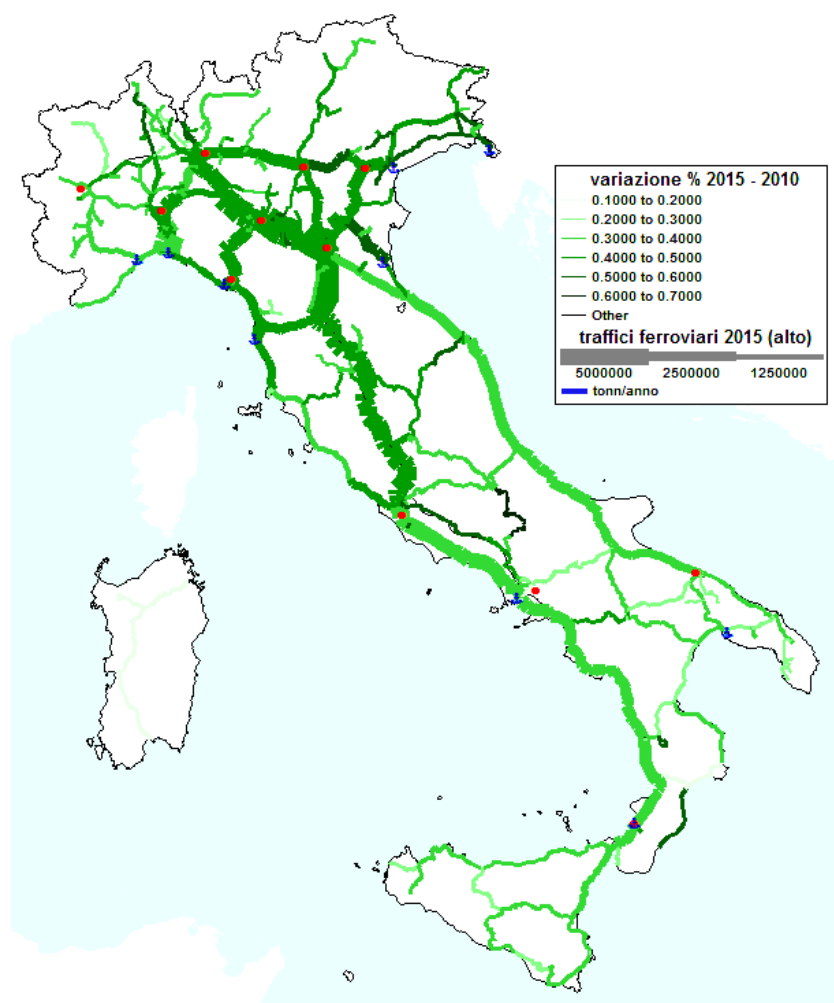


Figura 59 – Assegnazione della domanda di trasporto su ferrovia, traffici nazionali al 2015: valori assoluti (spessori) e variazione percentuale sulle direttrici rispetto al 2010 (scale di colori)

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	76.00	13.23	0.83	11.45	5.87	3.10	2.65	113.13
Centro Tirreno	9.82	138.20	6.45	16.40	19.49	2.17	6.76	199.29
Isole	1.33	9.87	60.75	7.99	7.05	1.56	7.92	96.47
Nord Est	11.18	15.47	2.78	426.55	64.91	3.74	5.62	530.27
Nord Ovest	6.35	17.21	4.79	65.14	434.25	2.89	5.57	536.20
Sud Adriatico	2.37	2.75	1.77	7.78	5.89	31.73	8.63	60.93
Sud Tirreno	2.89	6.75	5.33	3.74	4.26	5.43	52.91	81.31
Totale	109.95	203.48	82.71	539.05	541.72	50.61	90.06	1617.59

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	2.4%	5.3%	19.8%	4.6%	1.4%	0.9%	-1.0%	2.8%
Centro Tirreno	6.1%	6.6%	4.1%	5.9%	4.1%	6.5%	3.3%	6.1%
Isole	13.1%	4.1%	1.2%	3.9%	2.2%	0.3%	-1.4%	1.6%
Nord Est	4.8%	7.0%	6.2%	5.8%	4.0%	3.8%	1.1%	5.5%
Nord Ovest	1.1%	4.3%	7.5%	2.9%	0.3%	-0.2%	-2.0%	0.7%
Sud Adriatico	0.6%	5.8%	0.4%	2.5%	0.5%	0.3%	-1.8%	0.5%
Sud Tirreno	-2.1%	1.4%	-2.1%	0.0%	-2.4%	-2.1%	-4.4%	-3.2%
Totale	2.7%	6.1%	1.5%	5.3%	0.9%	0.5%	-2.8%	2.9%

Tabella 43 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2007]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	76.00	13.23	0.83	11.45	5.87	3.10	2.65	113.13
Centro Tirreno	9.82	138.20	6.45	16.40	19.49	2.17	6.76	199.29
Isole	1.33	9.87	60.75	7.99	7.05	1.56	7.92	96.47
Nord Est	11.18	15.47	2.78	426.55	64.91	3.74	5.62	530.27
Nord Ovest	6.35	17.21	4.79	65.14	434.25	2.89	5.57	536.20
Sud Adriatico	2.37	2.75	1.77	7.78	5.89	31.73	8.63	60.93
Sud Tirreno	2.89	6.75	5.33	3.74	4.26	5.43	52.91	81.31
Totale	109.95	203.48	82.71	539.05	541.72	50.61	90.06	1617.59

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	10.5%	13.0%	14.7%	13.3%	12.1%	11.0%	8.7%	11.1%
Centro Tirreno	13.6%	11.7%	9.7%	14.1%	12.8%	13.9%	11.4%	12.0%
Isole	10.7%	9.5%	6.1%	12.0%	8.6%	6.9%	5.9%	7.1%
Nord Est	13.9%	16.1%	18.2%	13.7%	15.0%	15.8%	12.9%	14.0%
Nord Ovest	11.7%	14.0%	10.5%	12.8%	9.8%	12.0%	9.2%	10.3%
Sud Adriatico	10.5%	13.3%	7.7%	14.3%	9.0%	7.2%	6.1%	8.5%
Sud Tirreno	7.7%	9.4%	5.7%	10.6%	8.2%	6.4%	4.3%	5.5%
Totale	11.1%	12.1%	7.1%	13.6%	10.5%	8.4%	6.0%	11.2%

Tabella 44 - Matrice o-d traffici nazionali tutti i modi tra macroaree geografiche [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2010]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	74.98	12.69	0.31	10.90	5.54	2.66	2.42	109.50
Centro Tirreno	9.36	136.80	0.45	15.22	17.35	1.68	5.97	186.81
Isole	0.18	0.45	53.78	0.48	0.46	0.23	0.77	56.34
Nord Est	10.71	13.93	0.94	419.95	58.95	2.69	4.45	511.63
Nord Ovest	6.04	14.81	0.66	62.53	425.44	2.02	4.49	515.98
Sud Adriatico	1.86	1.67	0.37	2.64	1.92	31.08	8.14	47.69
Sud Tirreno	2.64	5.97	1.39	2.92	2.89	5.31	51.17	72.29
Totale	105.77	186.32	57.89	514.64	512.54	45.66	77.41	1500.24

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	2.3%	4.5%	2.3%	4.4%	1.2%	0.4%	-1.2%	2.6%
Centro Tirreno	5.4%	6.6%	4.9%	5.3%	3.4%	7.0%	3.4%	6.0%
Isole	1.8%	3.9%	1.2%	3.5%	0.8%	0.4%	-0.9%	1.2%
Nord Est	4.6%	6.0%	4.4%	5.7%	3.2%	3.6%	1.2%	5.3%
Nord Ovest	1.0%	3.1%	0.6%	2.5%	0.2%	-0.2%	-1.9%	0.5%
Sud Adriatico	0.7%	6.1%	0.6%	2.1%	0.0%	0.3%	-1.7%	0.3%
Sud Tirreno	-2.2%	1.4%	-1.6%	-0.4%	-2.7%	-2.0%	-4.3%	-3.3%
Totale	2.6%	6.0%	1.2%	5.2%	0.6%	0.4%	-2.9%	2.8%

Tabella 45 - Matrice o-d traffici nazionali stradali tra macroaree geografiche [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2007]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	74.98	12.69	0.31	10.90	5.54	2.66	2.42	109.50
Centro Tirreno	9.36	136.80	0.45	15.22	17.35	1.68	5.97	186.81
Isole	0.18	0.45	53.78	0.48	0.46	0.23	0.77	56.34
Nord Est	10.71	13.93	0.94	419.95	58.95	2.69	4.45	511.63
Nord Ovest	6.04	14.81	0.66	62.53	425.44	2.02	4.49	515.98
Sud Adriatico	1.86	1.67	0.37	2.64	1.92	31.08	8.14	47.69
Sud Tirreno	2.64	5.97	1.39	2.92	2.89	5.31	51.17	72.29
Totale	105.77	186.32	57.89	514.64	512.54	45.66	77.41	1500.24

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	10.2%	11.7%	10.2%	12.9%	10.8%	9.5%	8.4%	10.6%
Centro Tirreno	12.2%	11.6%	10.5%	12.5%	10.7%	12.8%	10.6%	11.6%
Isole	8.7%	9.5%	5.9%	10.1%	8.4%	6.7%	6.0%	6.0%
Nord Est	13.2%	13.8%	12.5%	13.4%	12.6%	12.2%	10.7%	13.3%
Nord Ovest	10.7%	11.3%	10.0%	11.8%	9.4%	9.7%	8.3%	9.7%
Sud Adriatico	8.7%	11.8%	7.7%	10.5%	9.0%	7.0%	5.9%	7.3%
Sud Tirreno	7.4%	9.4%	5.8%	9.3%	7.5%	6.2%	4.2%	5.2%
Totale	10.6%	11.7%	6.1%	13.1%	9.8%	7.7%	5.6%	10.8%

Tabella 46 - Matrice o-d traffici nazionali stradali tra macroaree geografiche [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2010]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.27	0.00	0.33	0.40	0.02	0.24	0.20	1.45
Centro Tirreno	0.00	1.10	5.90	0.21	0.57	0.31	0.47	8.56
Isole	0.99	9.18	6.45	6.93	6.21	1.32	7.05	38.13
Nord Est	0.23	0.21	1.09	2.13	0.03	0.44	0.53	4.65
Nord Ovest	0.05	0.68	3.59	0.26	0.11	0.47	0.72	5.87
Sud Adriatico	0.29	0.81	1.35	3.93	3.71	0.38	0.34	10.81
Sud Tirreno	0.19	0.74	3.90	0.57	1.13	0.01	1.47	8.01
Totale	2.02	12.72	22.61	14.43	11.78	3.17	10.77	77.49

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	2.6%	-0.3%	56.6%	6.0%	-1.2%	3.4%	2.2%	3.5%
Centro Tirreno	4.1%	5.8%	3.9%	5.7%	5.5%	1.6%	1.4%	4.1%
Isole	16.6%	3.8%	1.4%	3.3%	2.3%	0.3%	-1.5%	1.9%
Nord Est	5.5%	4.5%	3.8%	5.6%	4.9%	2.5%	2.0%	4.4%
Nord Ovest	3.8%	4.0%	9.7%	4.7%	4.4%	1.8%	-0.1%	2.5%
Sud Adriatico	-1.3%	1.4%	0.1%	1.5%	1.0%	-0.5%	-2.0%	0.9%
Sud Tirreno	0.9%	1.3%	-2.4%	0.7%	-0.7%	-1.4%	-5.4%	-2.1%
Totale	1.2%	3.7%	1.6%	3.2%	1.8%	1.1%	-1.6%	1.8%

Tabella 47 - Matrice o-d traffici nazionali marittimi tra macroaree geografiche [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2007]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.27	0.00	0.33	0.40	0.02	0.24	0.20	1.45
Centro Tirreno	0.00	1.10	5.90	0.21	0.57	0.31	0.47	8.56
Isole	0.99	9.18	6.45	6.93	6.21	1.32	7.05	38.13
Nord Est	0.23	0.21	1.09	2.13	0.03	0.44	0.53	4.65
Nord Ovest	0.05	0.68	3.59	0.26	0.11	0.47	0.72	5.87
Sud Adriatico	0.29	0.81	1.35	3.93	3.71	0.38	0.34	10.81
Sud Tirreno	0.19	0.74	3.90	0.57	1.13	0.01	1.47	8.01
Totale	2.02	12.72	22.61	14.43	11.78	3.17	10.77	77.49

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	11.2%	8.5%	9.6%	14.2%	9.1%	10.9%	9.6%	11.3%
Centro Tirreno	10.9%	11.5%	9.2%	13.0%	10.8%	8.7%	8.1%	9.6%
Isole	7.8%	9.0%	6.6%	10.2%	7.5%	6.8%	5.7%	7.8%
Nord Est	14.0%	12.5%	11.3%	14.8%	12.3%	11.4%	10.2%	13.0%
Nord Ovest	10.7%	9.5%	8.0%	11.6%	9.2%	8.2%	7.2%	8.3%
Sud Adriatico	7.7%	8.7%	7.0%	10.3%	7.8%	7.4%	5.6%	8.6%
Sud Tirreno	8.0%	8.7%	5.4%	8.6%	6.4%	6.0%	4.2%	5.9%
Totale	9.0%	9.2%	7.6%	11.0%	7.7%	8.2%	6.0%	8.3%

Tabella 48 - Matrice o-d traffici nazionali marittimi tra macroaree geografiche [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2010]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.75	0.54	0.20	0.15	0.32	0.20	0.04	2.19
Centro Tirreno	0.47	0.30	0.11	0.97	1.57	0.18	0.32	3.91
Isole	0.17	0.24	0.52	0.58	0.38	0.01	0.09	1.99
Nord Est	0.25	1.33	0.75	4.47	5.93	0.61	0.64	13.98
Nord Ovest	0.27	1.72	0.55	2.35	8.70	0.41	0.36	14.35
Sud Adriatico	0.21	0.27	0.06	1.22	0.25	0.27	0.16	2.43
Sud Tirreno	0.05	0.03	0.05	0.24	0.25	0.12	0.27	1.01
Totale	2.17	4.43	2.22	9.98	17.40	1.78	1.88	39.86

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	14.5%	26.3%	6.7%	17.0%	4.5%	4.7%	-0.8%	13.7%
Centro Tirreno	22.9%	19.9%	14.6%	17.6%	11.6%	10.6%	5.0%	14.4%
Isole	6.3%	18.6%	6.0%	11.5%	2.1%	0.7%	-2.1%	7.7%
Nord Est	13.5%	18.2%	12.2%	20.1%	12.5%	5.8%	0.0%	14.4%
Nord Ovest	2.3%	16.0%	2.6%	13.6%	5.4%	-2.6%	-6.3%	7.1%
Sud Adriatico	2.9%	19.8%	6.3%	6.8%	-1.5%	-4.8%	-9.5%	4.2%
Sud Tirreno	-9.8%	0.7%	1.9%	3.6%	-7.0%	-8.5%	-14.3%	-6.5%
Totale	11.7%	18.3%	7.5%	15.5%	7.9%	1.4%	-3.7%	10.0%

Tabella 49 - Matrice o-d traffici nazionali ferroviari tra macroaree geografiche [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2007]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.75	0.54	0.20	0.15	0.32	0.20	0.04	2.19
Centro Tirreno	0.47	0.30	0.11	0.97	1.57	0.18	0.32	3.91
Isole	0.17	0.24	0.52	0.58	0.38	0.01	0.09	1.99
Nord Est	0.25	1.33	0.75	4.47	5.93	0.61	0.64	13.98
Nord Ovest	0.27	1.72	0.55	2.35	8.70	0.41	0.36	14.35
Sud Adriatico	0.21	0.27	0.06	1.22	0.25	0.27	0.16	2.43
Sud Tirreno	0.05	0.03	0.05	0.24	0.25	0.12	0.27	1.01
Totale	2.17	4.43	2.22	9.98	17.40	1.78	1.88	39.86

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	48.5%	55.1%	33.7%	54.1%	41.8%	35.8%	28.4%	46.3%
Centro Tirreno	52.8%	43.2%	35.1%	48.8%	42.5%	37.2%	33.5%	43.9%
Isole	35.0%	38.6%	25.4%	41.0%	32.3%	25.4%	21.4%	33.2%
Nord Est	50.2%	48.9%	39.9%	58.2%	45.9%	39.4%	33.4%	48.7%
Nord Ovest	40.2%	46.1%	31.4%	47.7%	36.8%	30.6%	27.5%	38.9%
Sud Adriatico	35.2%	45.2%	29.0%	41.7%	31.4%	24.5%	19.6%	36.4%
Sud Tirreno	23.3%	25.1%	25.8%	37.5%	27.8%	20.0%	14.6%	24.8%
Totale	45.2%	47.1%	32.8%	50.9%	40.1%	32.9%	27.4%	42.2%

Tabella 50 - Matrice o-d traffici nazionali ferroviari tra macroaree geografiche [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto e variazione percentuale rispetto al 2010]

Combinato [milioni di tonn/anno 2015]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.10	0.22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.30
Centro Tirreno	0.22	0.03	0.01	0.06	0.32	0.03	0.00	0.68
Isole	0.00	0.13	0.08	0.26	0.07	0.00	0.02	0.56
Nord Est	0.00	0.09	0.28	0.08	0.05	0.11	0.07	0.68
Nord Ovest	0.00	0.49	0.15	0.15	0.18	0.25	0.09	1.30
Sud Adriatico	0.02	0.01	0.00	0.35	0.11	0.16	0.00	0.64
Sud Tirreno	0.00	0.00	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00	0.11
Totale	0.31	0.98	0.52	0.92	0.82	0.55	0.18	4.28

Tradizionale [milioni di tonn/anno 2015]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.25	0.19	0.20	0.15	0.29	0.12	0.02	1.21
Centro Tirreno	0.11	0.25	0.09	0.63	0.84	0.13	0.32	2.39
Isole	0.17	0.05	0.40	0.21	0.24	0.01	0.07	1.15
Nord Est	0.25	0.18	0.31	3.59	2.77	0.27	0.37	7.75
Nord Ovest	0.26	0.62	0.28	0.76	5.40	0.09	0.21	7.61
Sud Adriatico	0.12	0.18	0.06	0.61	0.11	0.07	0.02	1.17
Sud Tirreno	0.03	0.03	0.05	0.15	0.08	0.01	0.12	0.47
Totale	1.19	1.50	1.38	6.11	9.73	0.70	1.14	21.74

Container [tonn/anno 2015]

	Centro Adriatico	Centro Tirreno	Isole	Nord Est	Nord Ovest	Sud Adriatico	Sud Tirreno	Totale
Centro Adriatico	0.40	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.02	0.51
Centro Tirreno	0.01	0.00	0.00	0.24	0.24	0.01	0.00	0.49
Isole	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.07
Nord Est	0.00	1.00	0.04	0.75	3.09	0.18	0.17	5.24
Nord Ovest	0.01	0.35	0.08	1.37	3.05	0.00	0.04	4.89
Sud Adriatico	0.07	0.08	0.00	0.11	0.00	0.00	0.13	0.39
Sud Tirreno	0.02	0.00	0.00	0.07	0.05	0.11	0.15	0.40
Totale	0.51	1.42	0.13	2.54	6.51	0.36	0.51	11.98

Tabella 51 - Matrice o-d traffici nazionali ferroviari tra macroaree geografiche, dettaglio della tipologia di traffico ferroviario [2015, milioni di tonnellate/anno in valore assoluto]

Le stesse valutazioni effettuate nello scenario attuale sulle direttrici più promettenti (Figura 51) sono state ripetute nello scenario di progetto al 2015, così da individuare il mercato potenziale di servizi intermodali a livello nazionale, ottenendo il risultato riportato in Figura 60: come si vede, le due direttrici più promettenti sono quella tirrenica e quella adriatica, sulle quali si ha ancora capacità disponibile ma scarseggiano i servizi.



Figura 60 - Linee di desiderio su rete al 2015, traffici con volumi annui di almeno 50.000 t e distanza superiore a 300 km

4.2.2.3 Traffici internazionali

La medesima tipologia di analisi condotta nel paragrafo precedente per i traffici nazionali è stata ripetuta in ambito europeo, ottenendo i risultati aggregati in termini di tonnellate/anno su tutti i modi per i tre scenari simulati, riportati in Tabella 52.

zona	esportazioni			importazioni		
	2010	2015 alto	2015 basso	2010	2015 alto	2015 basso
Africa Nordoccidentale	5.23	6.26	5.88	5.01	5.97	5.60
Africa Nordorientale	7.43	9.06	8.41	39.43	48.82	45.38
Albania, Grecia e Turchia	9.20	10.15	9.95	8.64	9.83	9.51
Balcani, Romania e Bulgaria	9.46	10.87	10.54	15.10	17.54	16.92
Danimarca e Scandinavia	3.19	3.58	3.52	6.93	7.78	7.60
Est Europa	6.48	7.53	7.24	9.42	11.29	10.72
Europa Centrale	29.68	32.70	32.18	42.57	47.17	46.20
Francia, Belgio e UK	34.42	38.23	37.46	40.23	44.84	43.78
Penisola Iberica	16.05	17.48	17.29	8.73	9.55	9.43
Russia e Baltico	2.28	2.67	2.59	33.37	39.41	37.89
<i>Totale</i>	123.41	138.52	135.05	209.43	242.20	233.03

Tabella 52 – Traffici internazionali da/verso l'Italia negli scenari al 2010 e al 2015 (alto e basso): valori complessivi in tonnellate/anno

In particolare, nel triennio 2007 - 2010 i traffici merci totali hanno subito un calo di oltre il 3%, con punto del -5% sulla direttrice verso l'Europa centrale: si tratta in generale di una diminuzione più contenuta rispetto al traffico nazionale.

Guardando in dettaglio ai traffici ferroviari con l'Europa continentale (Figura 61), si hanno 24 milioni di tonnellate/anno di import, di cui 3 milioni di tonnellate/anno di contenitori, 13 milioni di tonnellate/anno di tradizionale e 8 milioni di tonnellate/anno di trasporto combinato, e 16 milioni di tonnellate/anno di export, di cui 1 milione di tonnellate/anno di

contenitori, 7 milioni di tonnellate/anno di tradizionale e 8 milioni di tonnellate/anno di trasporto combinato. Con riferimento alle singole direttrici, i flussi da/verso la Francia e i Balcani hanno subito le maggiori riduzioni, mentre più contenute invece sono le riduzioni verso l'Europa centrale.

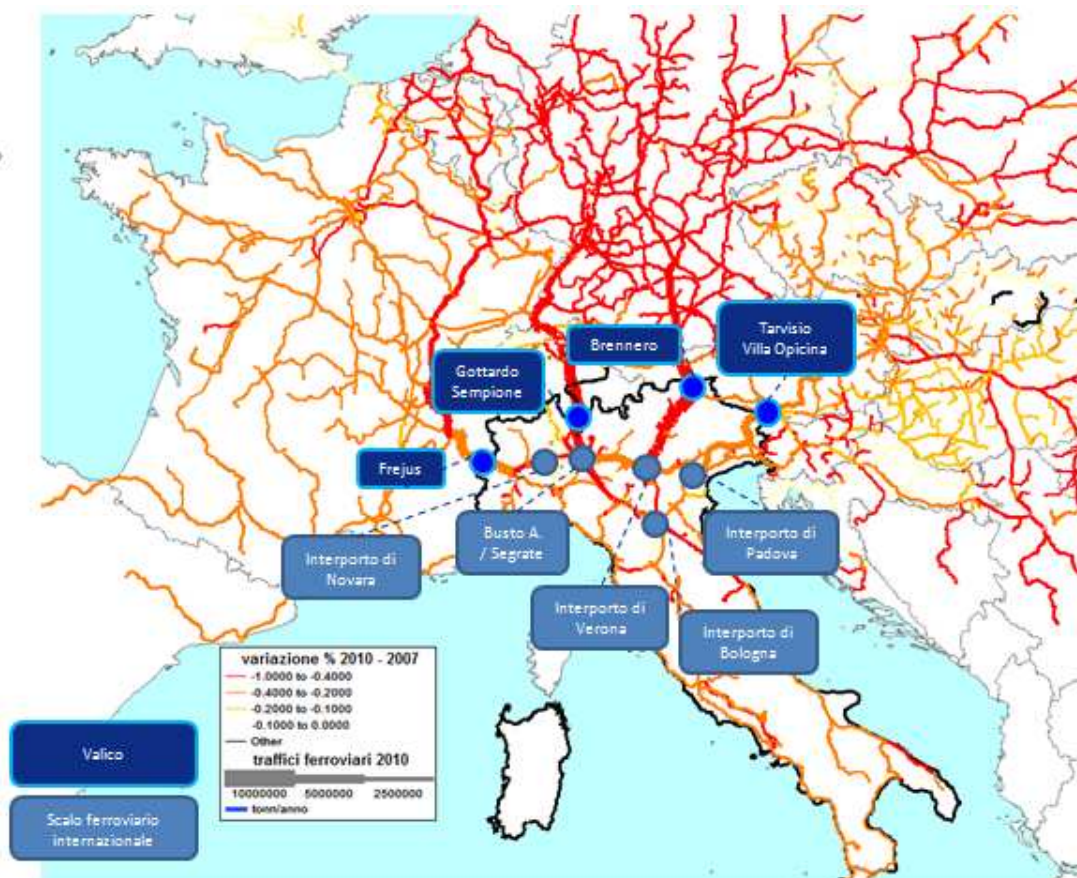


Figura 61 – Assegnazione matrice o-d ferroviaria al 2010 tra Italia e Europa continentale: valori assoluti in tonnellate/anno e variazioni percentuali rispetto al 2007

Nel quinquennio 2010 - 2015 si stima complessivamente una crescita del 14% (maggiore di quella nazionale), con tassi di aumento della domanda maggiori da/verso l'Europa dell'est (+20%). Il DSS restituisce come dato di quota modale una corrispondente crescita della ferrovia di circa il 46%, anche in questo caso con uno spostamento del baricentro dei flussi verso Europa dell'Est (+20%), Polonia (+25%) e Balcani (+30%). In termini complessivi, saranno trasportate 36 milioni di tonnellate/anno in import, di cui 3 milioni di tonnellate/anno di contenitori, 21 milioni di tonnellate/anno di tradizionale e 12 milioni di tonnellate/anno di trasporto combinato, e 22 milioni di tonnellate/anno in export, di cui 1 milione di tonnellate/anno di contenitori, 9 milioni di tonnellate/anno di tradizionale e 12 milioni di tonnellate/anno di trasporto combinato.

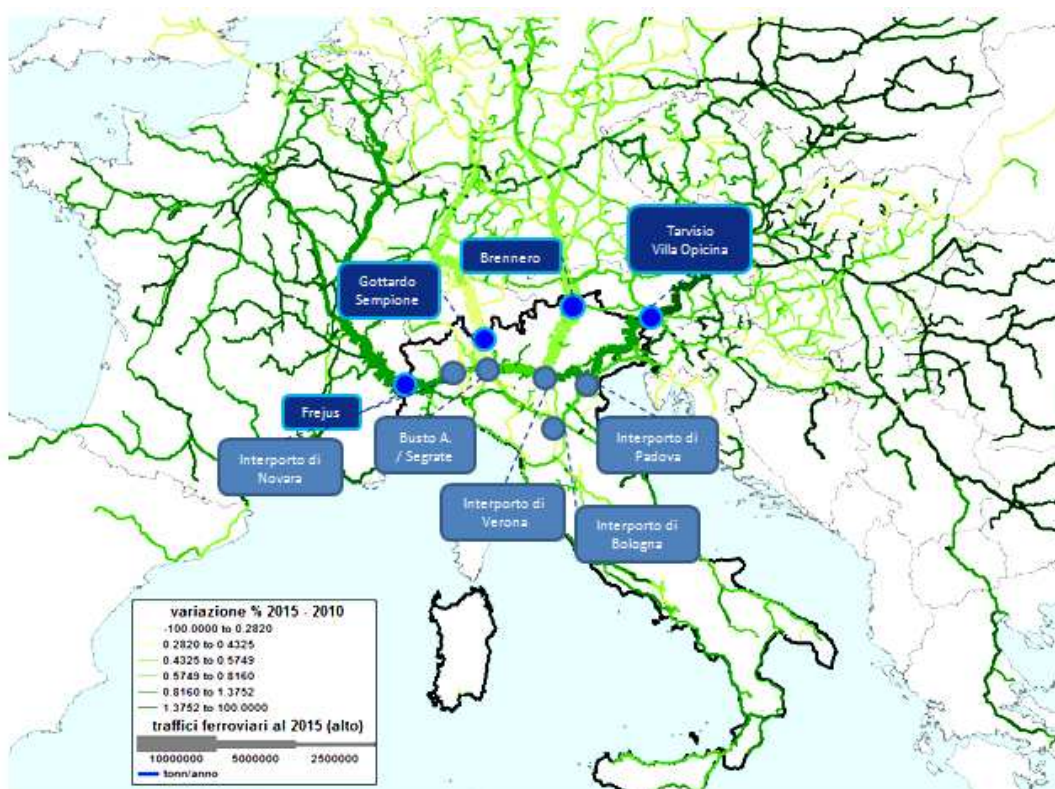


Figura 62 – Assegnazione matrice o-d ferroviaria al 2015 tra Italia e Europa continentale: valori assoluti in tonnellate/anno e variazioni percentuali rispetto al 2010

Complessivamente, l'applicazione del DSS al trasporto intermodale ferroviario internazionale dell'Italia ha evidenziato che i flussi di domanda verso il centro Europa sono maggiori, ma senza grosse prospettive di ulteriore crescita. D'altra parte, l'offerta verso queste direttrici è già in grado di assorbire i piccoli incrementi di domanda previsti al 2015. Le maggiori variazioni percentuali tra lo scenario attuale e quello futuro si hanno invece verso l'est Europa, dove tra l'altro l'offerta attuale è carente e c'è quindi margine per ulteriori servizi. Questo risultato è particolarmente interessante perché potrebbe potenzialmente suggerire nuove direttrici per operatori ferroviari italiani.

4.3 Competitività dei porti italiani rispetto a quelli del nord Europa

Una seconda applicazione del DSS ha riguardato un'analisi di competitività dei cluster portuali italiani del nord tirreno e del nord adriatico relativamente al traffico container rispetto ai porti del cosiddetto *northern range*, ovvero i porti nordeuropei. A tal proposito, va sottolineato preliminarmente che, lato offerta, il modello implementato secondo quanto descritto nel Capitolo 2 permette di trattare il segmento di offerta container sia nel trasporto

marittimo sia come inoltro terrestre, mentre le matrici o-d da fonte Eurostat descritte nel Capitolo 3 contengono, per ciascuna categoria merceologica, l'informazione sulla percentuale di tonnellate containerizzate sul totale. Dunque, ipotizzando che tale percentuale sia costante⁶⁵ negli scenari di progetto, è possibile applicarla alle matrici future predette dal modello gravitazionale.

Il tema della competitività tra cluster portuali nel segmento container è molto complesso e meriterebbe da solo uno studio di ricerca specifico: in questa fase si vuole solo mostrare come il DSS sviluppato possa efficacemente inserirsi anche in analisi di questo tipo. In particolare, è utile premettere che dal punto di vista delle compagnie di navigazione, la scelta di un determinato porto dipende tra l'altro dalle sue caratteristiche infrastrutturali e prestazionali, dalle tariffe richieste e dai costi da sopportare per l'imbarco/sbarco, dalla possibilità di inoltrare efficacemente i container via terra verso le destinazioni finali, dalla garanzia di sufficiente capacità per traffici attuali e futuri a breve/medio termine, dalla centralità rispetto al network di servizi offerti nell'ottica della massimizzazione delle prestazioni dei "giri nave". A sua volta, la scelta da parte del caricatore (cioè di chi ha spedito il container) di un determinato porto di imbarco/sbarco dipende tra l'altro dalla disponibilità di servizi verso quel porto e soprattutto dal costo generalizzato di trasporto del miglior percorso di spedizione che utilizza quel porto stesso. A tal proposito, occorre considerare che, dal punto di vista dei servizi marittimi, i porti del northern range sono collegati con tutto il mondo con tempi di resa ottimi⁶⁶ e con noli molto bassi; inoltre, la maggior parte dei grandi centri di distribuzione europea si trova in centro Europa e quindi anche le merci destinate in Italia molto spesso sbarcano nel nord Europa per transitare attraverso questi centri e raggiungere infine il nostro territorio via strada.

Nella presente applicazione, comunque, si è ipotizzato che il livello dei noli tra northern range e porti italiani sia il medesimo, e che non vi siano distorsioni di servizi tali da far preferire un cluster portuale all'altro. Ciò implica che, per una data coppia origine-destinazione, la differenza di scelta tra porti dipende solo dalle prestazioni dell'inoltro terrestre verso la destinazione finale o dall'origine iniziale: tale prestazione può ovviamente essere misurata in termini di tempi, costi monetari, costi generalizzati di trasporto e così via, a seconda del tipo di analisi da effettuare.

⁶⁵ Tale ipotesi è realistica ed affidabile in quanto ormai da qualche anno la percentuale di merci containerizzate sul totale *general cargo* si è stabilizzata attorno al 70%.

⁶⁶ Ad esempio, *Maersk* ha un servizio giornaliero da Shanghai verso Rotterdam senza scali intermedi.

A titolo di esempio, si è aggiornato il modello di offerta al 2020, ipotizzando il completamento dei corridoi TEN-T nell'area dell'Europa Centrale e assumendo massima competitività nella capacità di inoltro terrestre stradale e ferroviario da ciascun porto del nord adriatico (da Ravenna in Italia a Rijeka in Croazia) e del northern range (da Le Havre in Francia a Bremerhaven in Germania). Poi, per ciascuna zona NUTS3 dell'area di studio del DSS, si è calcolato il percorso di inoltro terrestre di minimo costo monetario per il segmento container (assumendo come riferimento la spedizione di un 40') tra le modalità stradale e ferroviaria da/verso il porto più vicino del northern range e dell'adriatico rispettivamente. Ciò consente dunque di calcolare la differenza di costo monetario assoluto tra northern range e adriatico per ciascuna zona e quindi di tracciare delle curve di competitività come quelle riportate nella seguente Figura 63: da esse si evince chiaramente che l'area di competitività dei porti del nord Europa arriva fino alle Alpi, limitando quindi la funzionalità dei porti Adriatici, anche nelle ipotesi di massima competitività dell'inoltro terrestre.

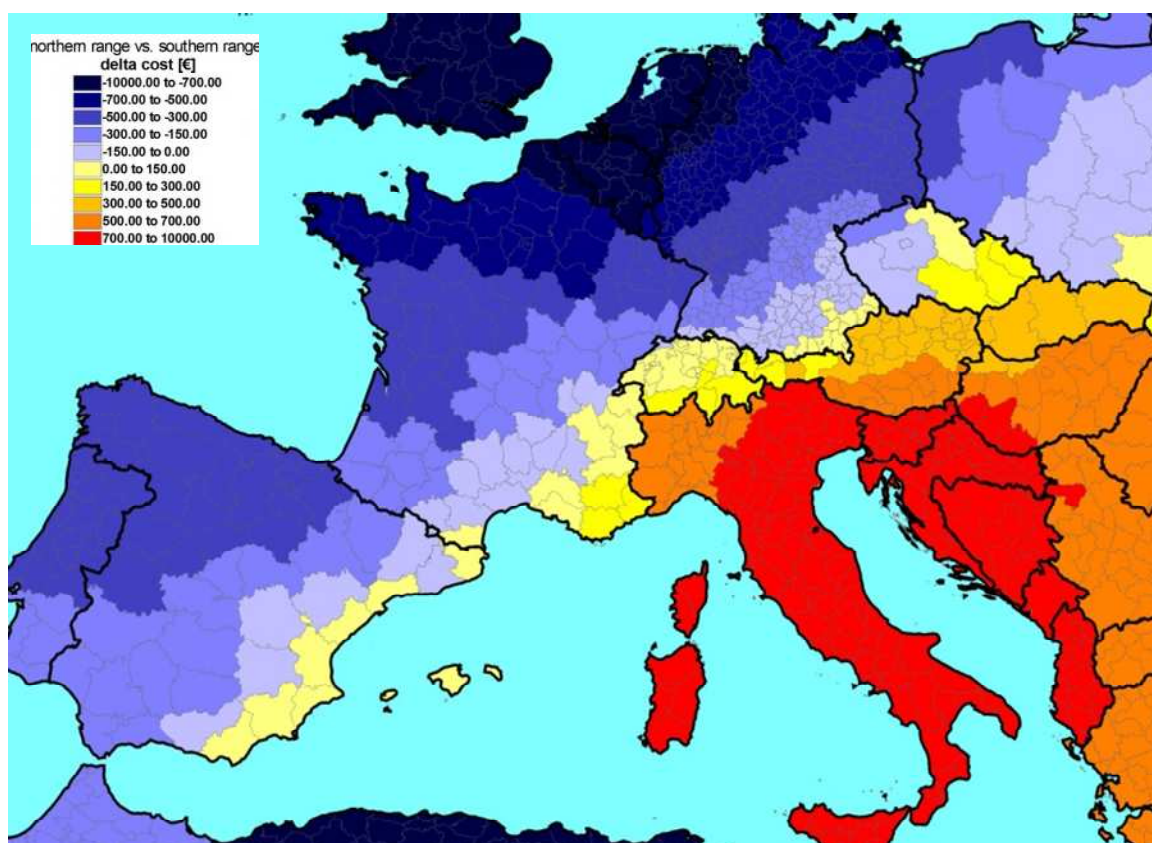


Figura 63 – Differenza di costo monetario di inoltro terrestre tra porti del nord adriatico e porti del northern range per ciascuna zona NUTS3 dell'area di studio del DSS: dati di offerta al 2020

L'analisi appena mostrata può ovviamente essere estesa a tutti i cluster portuali europei, identificando quindi il bacino potenziale di domanda di ciascuno di essi: in genere, per la maggior parte, tali bacini hanno una forma a raggio attorno al porto (tipicamente servita dalla

strada) più alcune “antenne” lontane (servite tipicamente con servizi ferroviari).

Passo successivo è poi la caratterizzazione della domanda di ciascun bacino. A tal fine si è innanzitutto utilizzato il modello gravitazionale, in modo da calcolare la domanda al 2020 in conseguenza di variazioni di PIL per ciascuna zona NUTS3 nell’area di riferimento: in particolare, poiché Eurostat fornisce il PIL a livello NUTS3 per ciascuno Stato della UE a 27, la metodologia descritta nel paragrafo 4.2.2.1 è stata applicata a livello NUTS3 e assumendo come orizzonte temporale il 2020. Successivamente, applicando la (3.20) e la (3.16) si sono calcolate le matrici o-d future per ciascuna categoria merceologica, a ciascuna delle quali è stata poi applicata la percentuale di containerizzazione fornita sempre da Eurostat e infine si è effettuata una conversione da tonnellate in TEU assumendo un carico medio di 11 tonnellate per TEU. Il risultato è riportato in termini di variazioni assolute di densità di container emessi/attratti per km^2 in Figura 64 e di variazioni percentuali in Figura 65 tra 2010 e 2020: la scelta di rappresentare la densità è per neutralizzare l’eterogeneità della grandezza delle zone sul totale emesso/attratto.

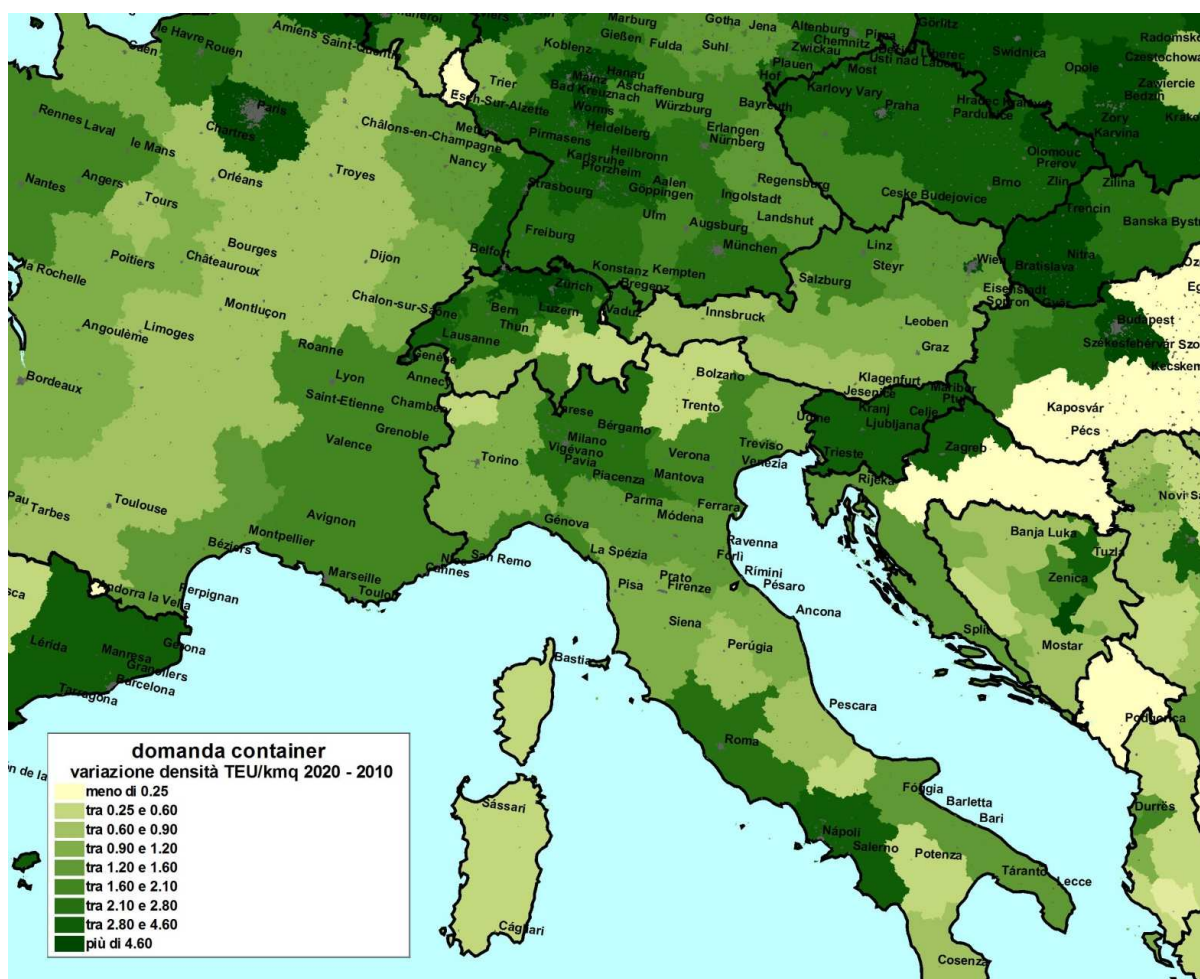


Figura 64 - Variazione di densità di TEU/km² emessi e attratti per ciascuna zona NUTS3 dell'area di studio del DSS tra il 2010 e il 2020 (valori assoluti)

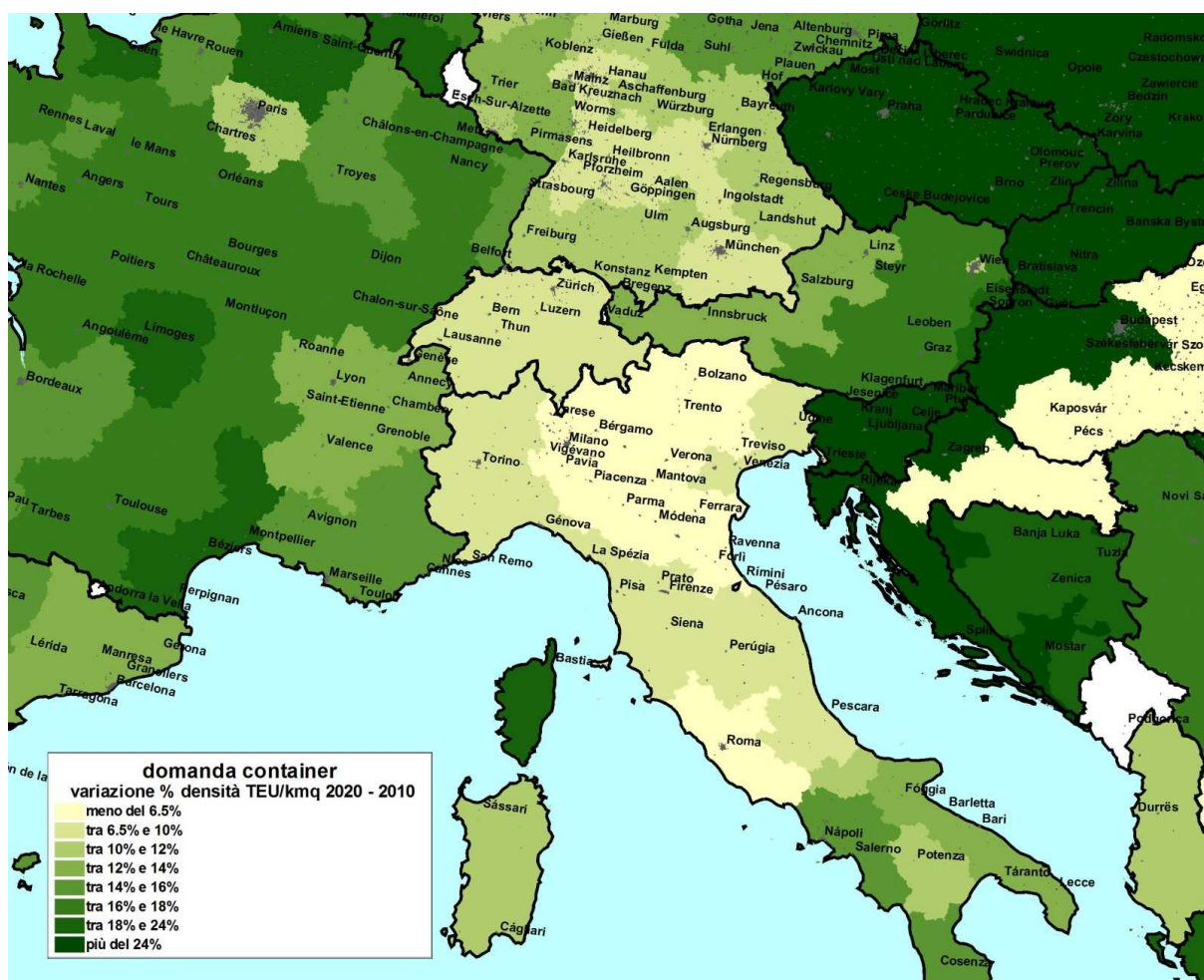


Figura 65 – Variazione di densità di TEU/km2 emessi e attratti per ciascuna zona NUTS3 dell'area di studio del DSS tra il 2010 e il 2020 (valori percentuali)

Come si può facilmente notare, l'area a maggior crescita di domanda è quella dell'Europa centro-orientale, proprio laddove il cluster portuale nord adriatico può esprimere la sua competitività: appare quindi naturale intersecare le informazioni di offerta e di domanda al fine di calcolare le prospettive di domanda in TEU del cluster al 2020. A tal fine, come accennato in precedenza, l'analisi di Figura 63 è stata estesa considerando tutti i 491 porti del modello di offerta e associando a ciascuna zona il porto più competitivo⁶⁷ per l'inoltro terrestre in termini di costo monetario, assumendo dunque indifferenza di scelta lato noli. Di conseguenza, a ciascun porto si associa direttamente come bacino l'insieme delle zone attrattive, e il bacino di un cluster è la sovrapposizione dei bacini dei singoli porti che vi appartengono. Chiaramente, è immediato associare poi la domanda di ciascuna zona al cluster (o ai cluster in proporzione) di riferimento: ad esempio, si sono ottenuti i risultati riportati in

⁶⁷ In dettaglio, si sono assunti come attrattivi per una data zona tutti i porti entro una differenza di costo di trasporto di 100€ rispetto al porto più vicino, e la scelta tra porti è stata effettuata con un modello di tipo Logit Multinomiale con attributo costo di viaggio e beta corrispondente desunto dal modello di scelta modale calibrato nel Capitolo 3.

Figura 66 per il cluster portuale nord tirrenico e in Figura 67 per il cluster portuale nord adriatico.

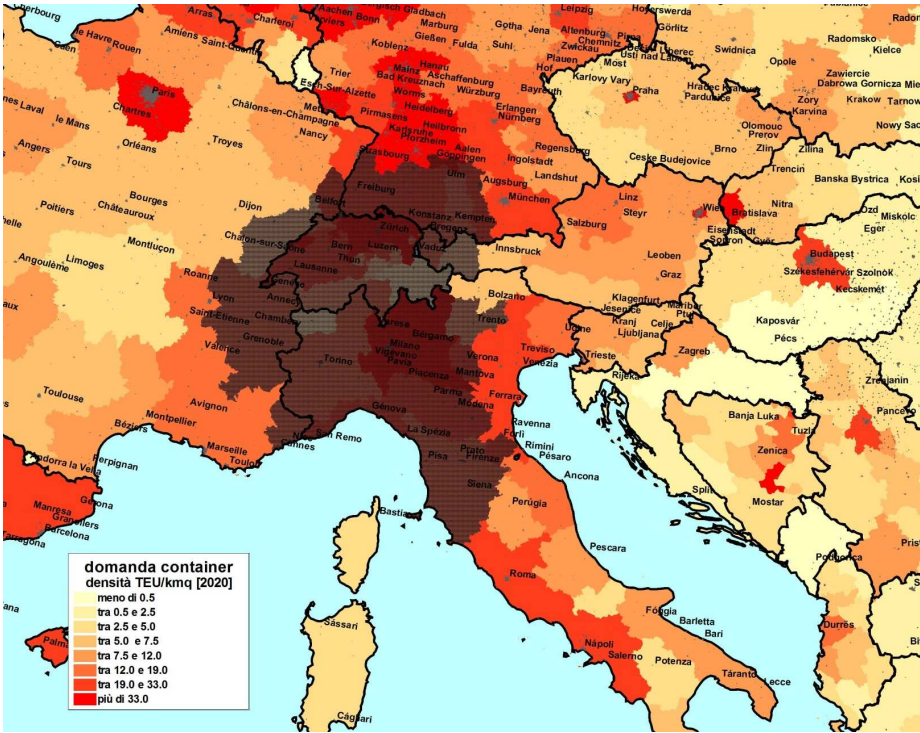


Figura 66 – Cluster portuale nord-tirrenico: estensione e densità di domanda al 2020

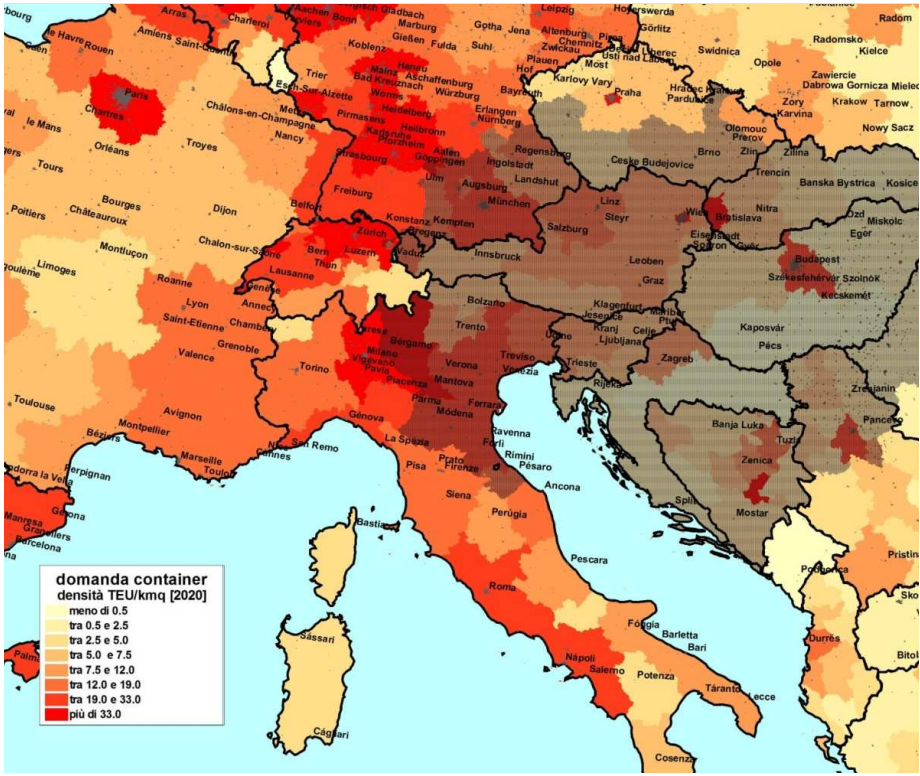


Figura 67 – Cluster portuale nord-adriatico: estensione e densità di domanda al 2020

Inoltre, per meglio chiarire che ciascuna zona può fare riferimento a più cluster, con una probabilità di scelta calcolata con un Logit multinomiale, si riporta in Figura 68 un dettaglio - relativo sempre al bacino nord-adriatico - delle percentuali di appartenenza ad esso di ciascuna zona NUTS3.

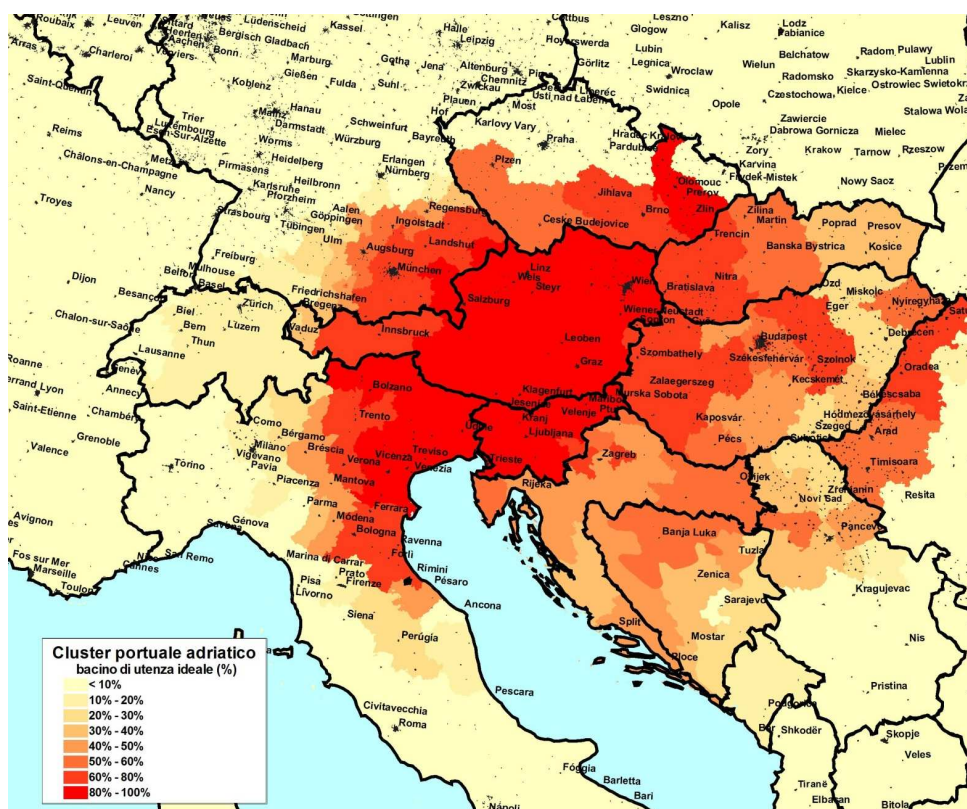


Figura 68 – Percentuali di appartenenza di ciascuna zona al bacino nord-adriatico al 2020

Dall'analisi in particolare è emerso che il totale della domanda attratta dai porti del nord adriatico raggiungerà al 2020 circa 2.5 milioni di TEU, il che significa che gli 8 milioni di TEU previsti dagli attuali piani di sviluppo dei singoli porti (terminal off-shore per Venezia, nuovo terminal Unicredit a Monfalcone⁶⁸ e sviluppo del porto di Koper) sono di gran lunga superiori alla domanda che si è effettivamente in grado di catturare.

4.4 Analisi delle potenzialità dello SSS nel Mediterraneo

La terza applicazione del DSS implementato nella tesi si riferisce a due studi di fattibilità tecnico-economica di nuove linee marittime di tipo Ro-Ro e Ro-Pax, il primo sulle direttrici fra l'Italia ed i Paesi dei Balcani, il secondo fra l'Italia e i Paesi della sponda Sud del

⁶⁸ Alla data di completamento della tesi il progetto Unicredit a Monfalcone è stato abbandonato mentre Venezia è riuscita a ottenere finanziamenti nell'ambito del MOSE per l'opera portuale.

Mediterraneo: entrambi i progetti sono nati dalla collaborazione con LOGICA (Agenzia campana di promozione della logistica e del trasporto merci), nell'ambito delle attività dei progetti integrati *ItalBalk* e *ItalMed* rispettivamente⁶⁹. I contesti analizzati nei due diversi progetti appaiono molto diversi. Per quanto riguarda il Mar Adriatico, il mercato di sbocco è rappresentato dai Balcani e dall'est Europa ed è caratterizzato da tratte molto corte in cui c'è molta competizione, essendo molti i servizi marittimi a contendersi il mercato. Il secondo contesto vede invece come mercato di sbocco l'Africa ed è caratterizzato da tratte molto lunghe e da pochi servizi, quindi poca concorrenza.

Per entrambi i progetti è stata inizialmente fatta un'analisi della situazione attuale, sia dal lato offerta che dal lato domanda, dopodiché si è proceduto con una verifica di fattibilità di nuove linee stimando i nuovi bacini di domanda e i corrispondenti volumi attratti, calcolando i relativi ricavi e confrontandoli con una stima dei costi di esercizio. Il dettaglio delle analisi per ciascuno dei due progetti è riportato di seguito nei rispettivi sottoparagrafi 4.4.1 e 4.4.2.

4.4.1 Studio di fattibilità di un collegamento Ro-Ro tra Sud Italia e Albania

4.4.1.1 Situazione attuale

La situazione attuale delle connessioni marittime di linea tra Italia e Albania coinvolge i porti riportati in Figura 69 ed è costituita dai servizi Ro-Ro e Ro-Pax sulle rotte Bari-Durazzo, Ancona-Durazzo, Trieste-Durazzo e Brindisi-Valona, riportati in termini di offerta di servizi in corse/mese in Tabella 53. La situazione del mercato è all'attualità estremamente fluida: nei periodi di picco ci sono fino a 13 partenze giornaliere, offerte da numerosi operatori, tanto da renderla la tratta marittima a corto raggio con la maggiore concorrenza al mondo. In Tabella 54 si riporta inoltre una sintesi aggregata delle quote di mercato separatamente per i quattro porti italiani, desunta da alcuni studi pubblicati dal porto di Ancona.

⁶⁹ Tali progetti, finanziati dal Ministero degli Affari Esteri e dal Ministero dello Sviluppo Economico, avevano l'obiettivo di condurre studi di fattibilità finalizzati alla sensibilizzazione degli enti pubblici e degli attori privati preposti al miglioramento dei corridoi intermodali tra Italia e Paesi della sponda sud del Mediterraneo e tra Italia e Balcani.

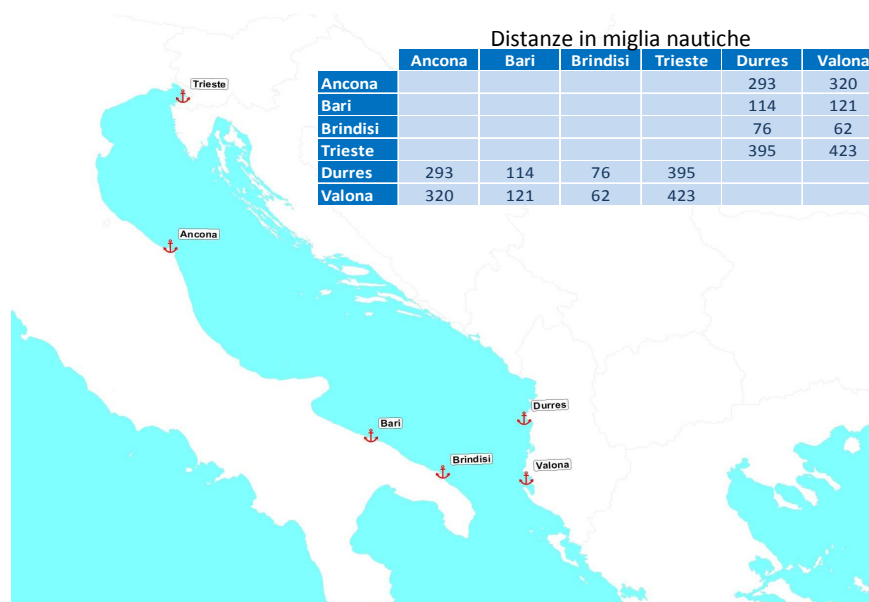


Figura 69 – Porti italiani e albanesi tra cui sono attive corse di tipo Ro-Ro e Ro-Pax e distanze in miglia nautiche

Tratta	Compagnia di Navigazione	Corse/mese	Aggiornamento al 2011
Ancona - Durazzo	Adria Ferries	12	
Bari - Durazzo	Adria Ferries	30	
	Azzurra Line	12	non attiva
	Tirrenia di Navigazione	16	non attiva
	Ventouris	16	
	Europeans Seaways	12	giornaliera estiva
	Ilion Lines/Agemar/Nel Lines	12	
Bari - Shengjin	Venezia Lines	15	catamarano estivo
	Azzurra Line	4	non attiva
Brindisi - Valona	Med Glory	24	non attiva
	Red Star Ferries	30	
Trieste - Durazzo	Agoudimos Lines	24	
	Ilion Lines/Agemar	10	

Tabella 53 - Offerta: corse/mese per direzione sul corridoio Italia-Albania

Porto	Passeggeri		Camion/trailer	
Bari	786,505	76%	53,163	68%
Brindisi	163,612	16%	10,954	14%
Ancona	48,600	5%	4,224	5%
Trieste	34,524	3%	10,404	13%

Fonte: Autorità Portuale di Ancona (2009)

Tabella 54 - Quote di mercato dei porti adriatici nei servizi da/verso l'Albania

Il cluster portuale pugliese accoglie da solo il 92% del traffico passeggeri e l'82% del traffico merci, il porto di Bari in virtù di una migliore accessibilità lato terra assorbe da solo il 75% dei traffici passeggeri e quasi il 70% di quelli merci, i porti di Ancona e Trieste offrono contributi marginali nei passeggeri, mentre Trieste a livello di merci ha la stessa quota di mercato di Brindisi. Per quanto riguarda il trasporto merci, la quota del non accompagnato varia in maniera proporzionale alla lunghezza della tratta: Trieste ha infatti una quota di non

accompagnato del 75%, con un forte sbilanciamento direzionale (i trailer imbarcati sono il 75% del totale, gli sbarcati rappresentano solo il 25%), la percentuale di non accompagnato di Ancona è invece molto bilanciata anche se in diminuzione (45% al 2008 e 30% al 2009), mentre dai porti pugliesi la quota è estremamente ridotta, il non accompagnato pesa in media meno del 14%. In generale, dai vari porti si osserva inoltre una certa omogeneità nelle caratteristiche funzionali e prestazionali dei navigli utilizzati, che sono tutti molto obsoleti (età media superiore ai 30 anni), poco performanti (velocità massime in media inferiori ai 18 nodi) e con capacità di carico orientata ai passeggeri.

Un aspetto interessante di tale ambito geografico è relativo alle prestazioni del trasporto accompagnato e del trasporto non accompagnato, di cui si è ampiamente discusso nel Capitolo 2 in termini di modellazione dell'offerta di trasporto. A tal proposito, si riporta in Figura 70 una rappresentazione grafica del percorso di minimo costo generalizzato di trasporto per la sequenza strada-mare-strada per le combinazioni con 1 autista e 2 autisti e con opzione accompagnato e non accompagnato per un semirimorchio sulla relazione Milano-Tirana, ottenuta dall'applicazione del sistema di modelli messo a punto. Intuitivamente, al decrescere del capitale immobilizzato - dal massimo di due autisti e trasporto accompagnato al minimo di un autista e trasporto non accompagnato - aumenta la lunghezza della tratta marittima, che è quella più lenta e che quindi pesa di più in termini di immobilizzazione. Ciò determina, come si osserva, percorsi e quindi servizi marittimi utilizzati molto diversi tra di loro, e questo ha ovviamente un notevole impatto sulla progettazione di nuovi servizi marittimi.

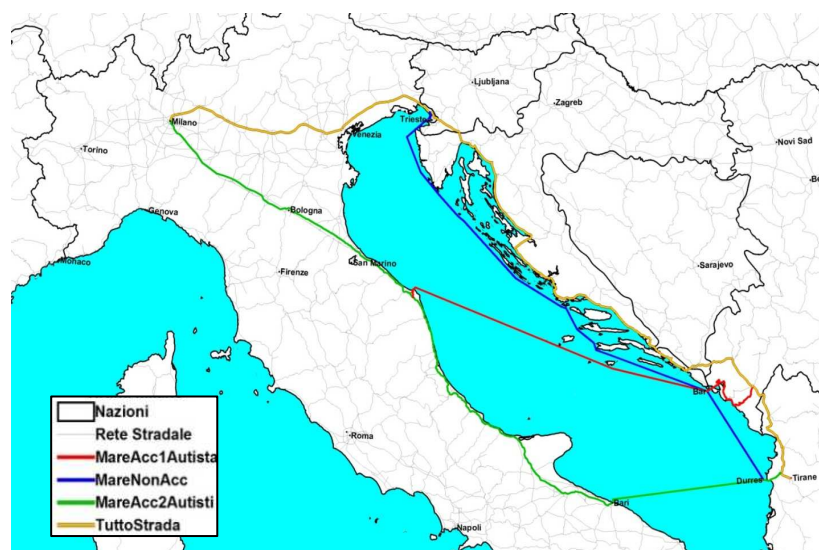


Figura 70 – Percorsi di minimo costo generalizzato sulla tratta Milano-Tirana per diverse ipotesi di guida (1/2 autisti) e di trasporto (accompagnato/non accompagnato)

Per quanto riguarda la domanda, si riporta in Tabella 55 un quadro di sintesi contenente una stima delle tonnellate/anno servite da ciascun porto adriatico in servizi Ro-Ro verso l'Albania: tali stime sono state ottenute da una rielaborazione dei dati forniti dalle diverse Autorità portuali e sono stati utilizzati per validare il DSS.

Porto	2008			2009		
	imbarchi	sbarchi	totale	imbarchi	sbarchi	totale
trieste	192,255	82,273	274,528	167,558	66,312	233,870
ancona	25,000	25,000	50,000	20,000	20,000	40,000
bari	539,211	441,173	980,384	555,888	454,817	1,010,705
brindisi	120,935	113,354	234,289	108,395	99,731	208,126
totale	877,401	661,800	1,539,201	851,841	640,860	1,492,701

Tabella 55 - Domanda [tonn/anno] per singolo porto

In particolare, per illustrare come il DSS possa fornire risultati utili anche quando applicato allo scenario attuale, si è voluto caratterizzare geograficamente tali bacini, verificando cioè quali coppie o-d utilizzino effettivamente un dato servizio e una data coppia di porti: infatti, questi dati sono disponibili solo per i servizi da Bari, grazie ad una indagine appositamente condotta dall'Autorità Portuale.

La procedura adottata è la seguente: per ciascuna coppia o-d sono stati calcolati i percorsi di costo generalizzato di trasporto minimo per le modalità tutto strada, Ro-Ro accompagnato e Ro-Ro non accompagnato, dopodiché è stato applicato il modello di scelta modale tra tutto strada e la migliore alternativa Ro-Ro, se presenti sia accompagnato che non accompagnato. Per ciascuna linea marittima è stato possibile quindi calcolare l'insieme delle coppie o-d per le quali la probabilità di scelta di quella linea non fosse risultata nulla e quindi il bacino su cui quella linea incide. Sommando sulle origini e sulle destinazioni tali probabilità si è ottenuta una misura, indipendente dai valori di domanda, che indica in che modo ciascuna zona è rilevante nell'ambito del bacino della linea. Si riporta da Figura 71 a Figura 77 una rappresentazione grafica dei bacini così calcolati per ciascuna linea, separatamente per le modalità Ro-Ro accompagnato e non accompagnato, ad eccezione della Brindisi-Valona per la quale l'opzione non accompagnato non risulta mai conveniente rispetto all'accompagnato, vista la vicinanza dei due porti.

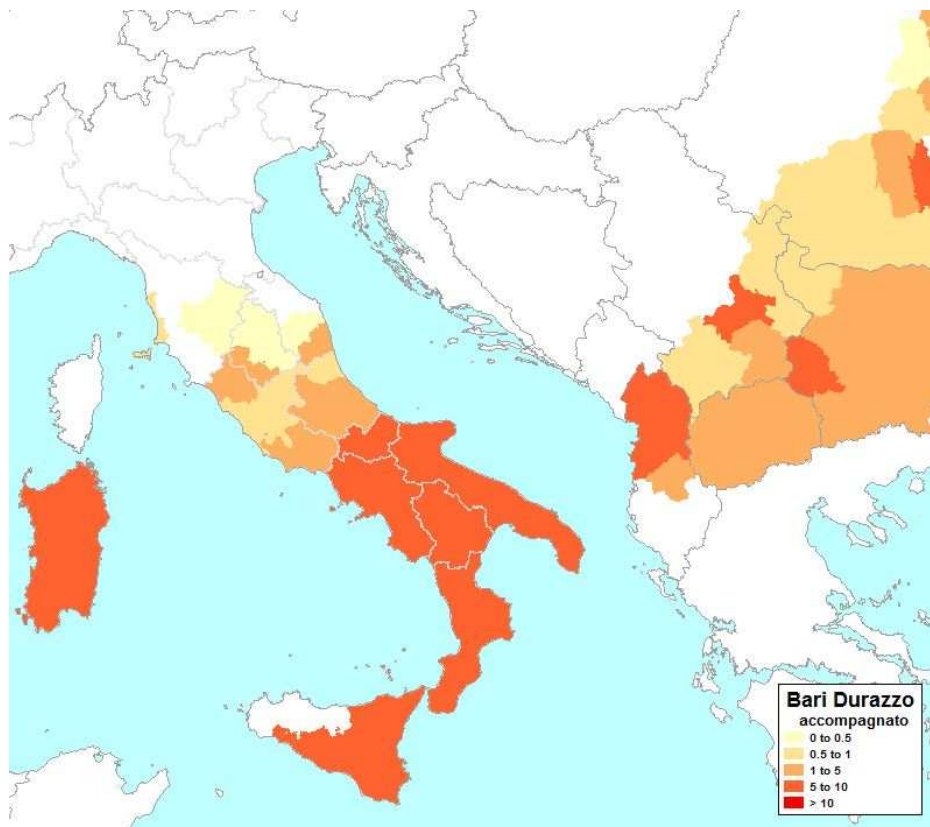


Figura 71 - Bacino attuale linea linea Ro-Pax Bari - Durazzo (accompagnato)

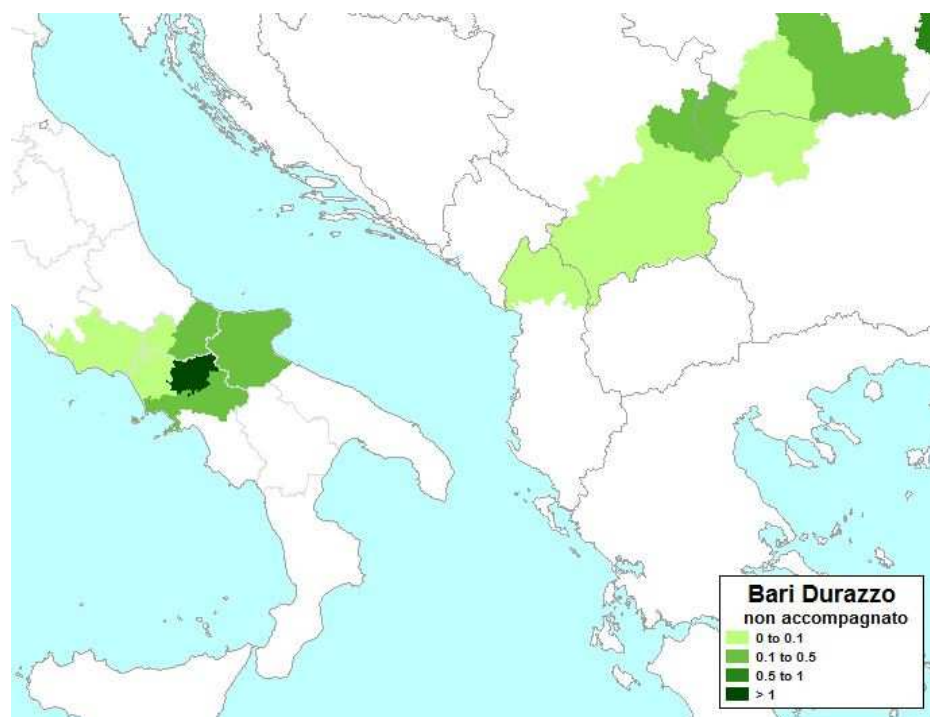


Figura 72 - Bacino attuale linea linea Ro-Pax Bari - Durazzo (non accompagnato)

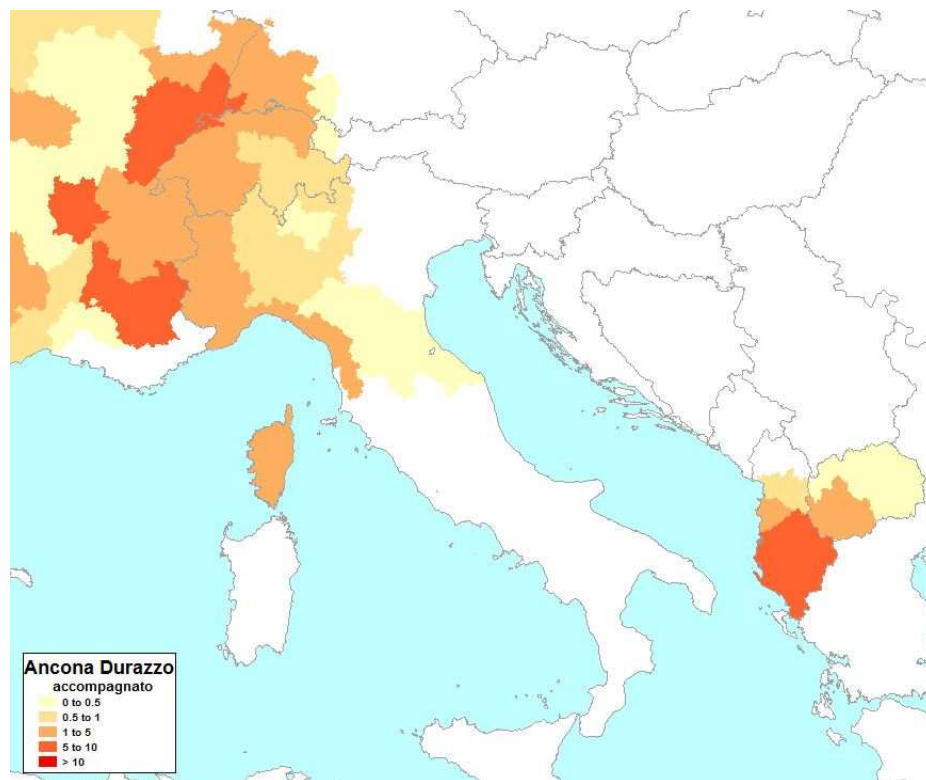


Figura 73 - Bacino attuale linea Ro-Pax Ancona - Durazzo (accompagnato)

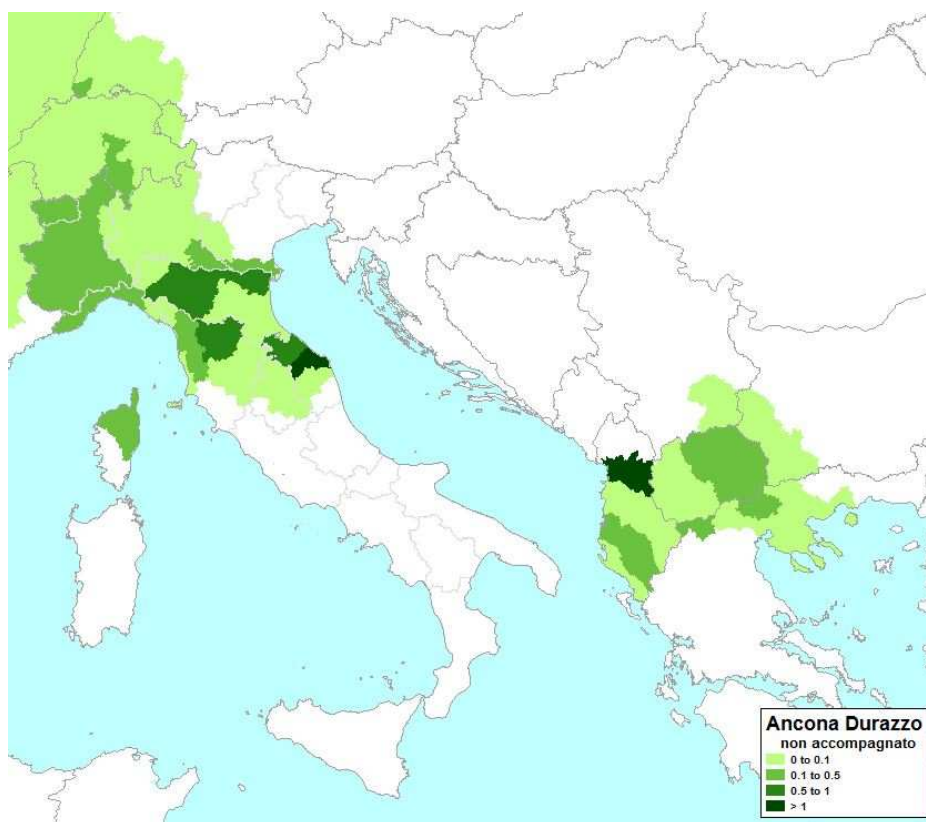


Figura 74 - Bacino attuale linea Ro-Pax Ancona - Durazzo (non accompagnato)

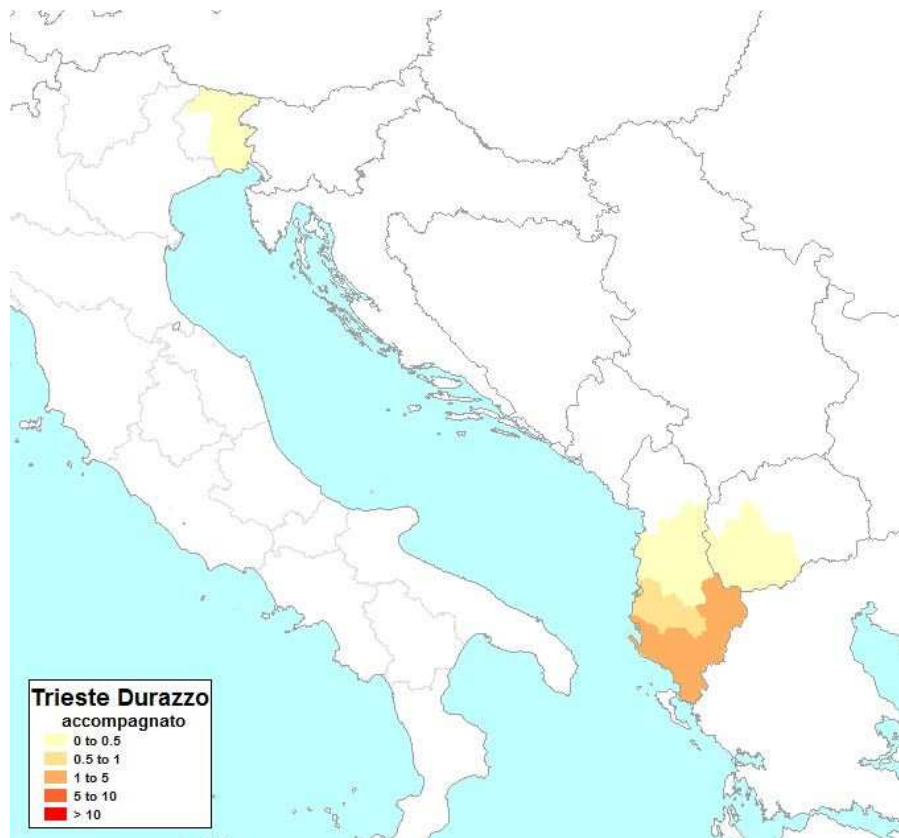


Figura 75 - Bacino attuale linea Ro-Pax Trieste - Durazzo (accompagnato)

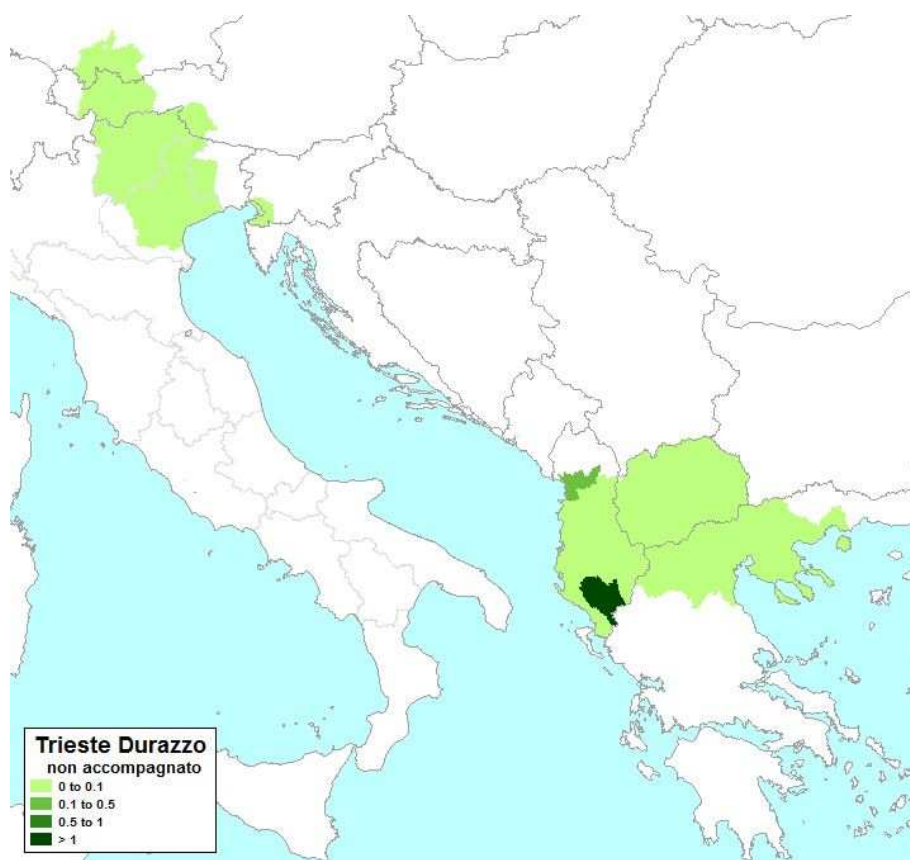


Figura 76 - Bacino attuale linea Ro-Pax Trieste - Durazzo (non accompagnato)

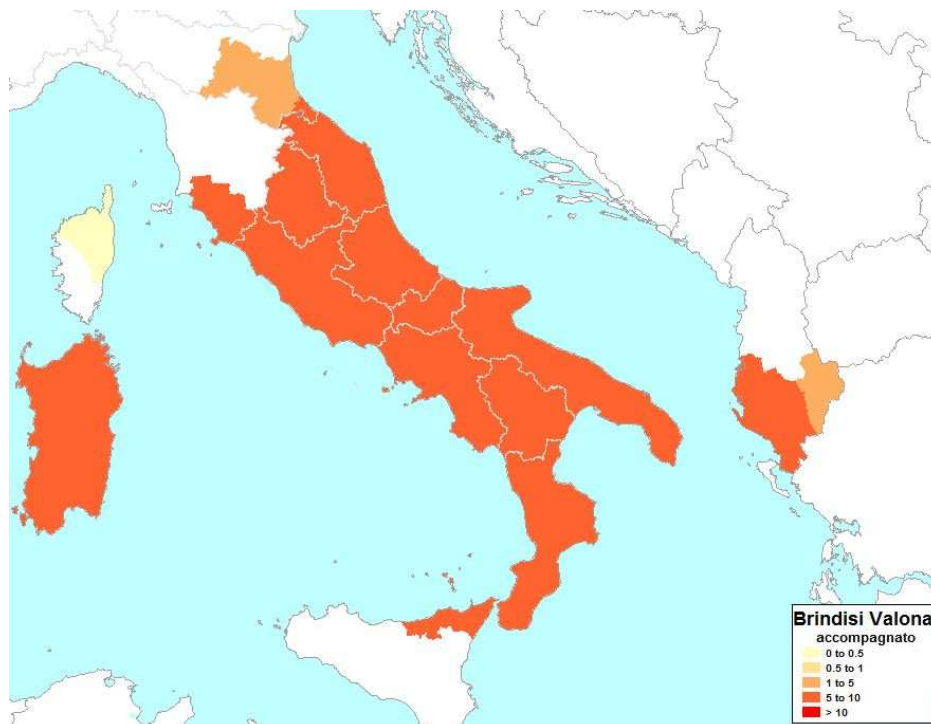


Figura 77 - Bacino attuale linea Ro-Pax Brindisi – Valona (accompagnato)

Da un'analisi dei bacini è emerso che per le “tratte corte” (ad es. da Bari e da Brindisi) la differenza di costo generalizzato tra accompagnato e non accompagnato è molto ridotta, pertanto solo le coppie o-d vicine ai porti di origine/destinazione risentono di questa differenza e quindi preferiscono la modalità non accompagnato, mentre per tutte le altre coppie o-d più lontane non ci sono apprezzabili differenze di costo generalizzato, dunque nel complesso il bacino del non accompagnato è molto ridotto rispetto a quello dell'accompagnato. Per le “tratte lunghe” invece (ad es. da Ancona e da Trieste) la differenza di costo generalizzato tra accompagnato e non accompagnato è abbastanza significativa, quindi anche coppie o-d lontane osservano queste apprezzabili differenze e questo porta il bacino del non accompagnato ad essere dello stesso ordine di grandezza di quello dell'accompagnato. Si riportano di seguito due rappresentazioni grafiche aggregate dei bacini relativi alle quattro tratte oggetto di studio, rispettivamente per l'accompagnato (Figura 78) e per il non accompagnato (Figura 79), così da fornire un quadro di riepilogo delle analisi complessivamente condotte sulla situazione attuale. Ovviamente, così come nel paragrafo 4.3, a ciascun bacino è possibile associare il corrispondente dato di domanda e quindi ottenere i carichi a bordo di ciascuna linea e per porto, da confrontare direttamente con i valori di Tabella 55: ciò ha consentito di impostare una procedura di correzione della matrice o-d Italia-Albania (parte della matrice complessiva del DSS) di tipo GLS, in modo da riprodurre perfettamente tali valori.

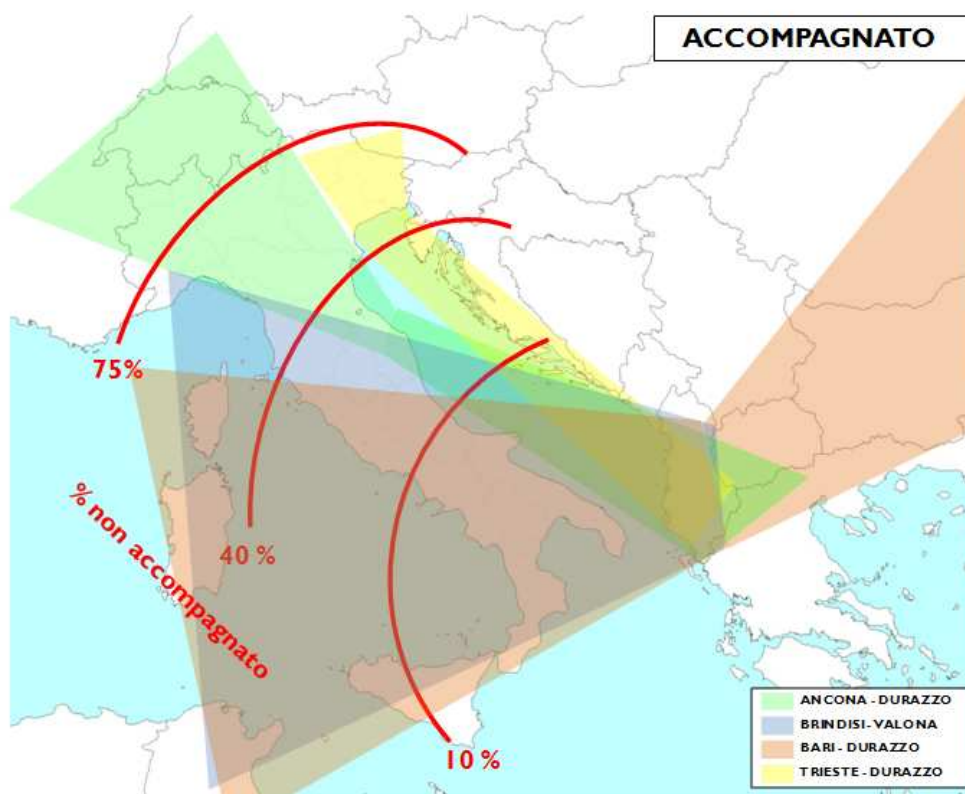


Figura 78 - Bacini attuali linee Ro-Pax tra Italia e Albania: quadro di sintesi (accompagnato)

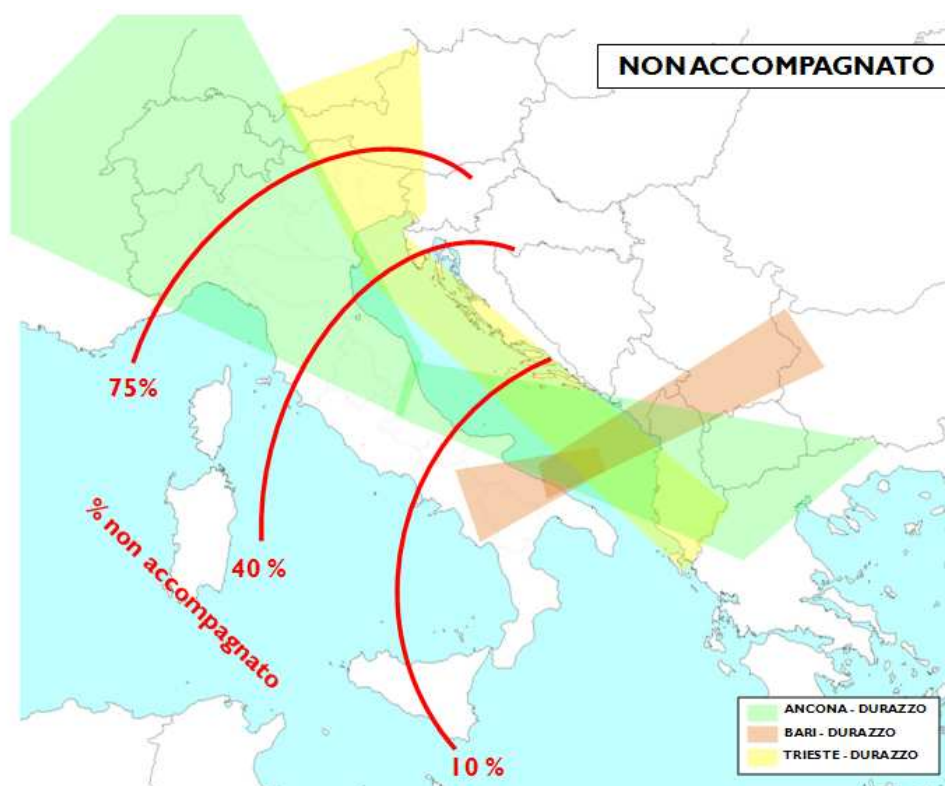


Figura 79 - Bacini attuali linee Ro-Pax tra Italia e Albania: quadro di sintesi (non accompagnato)

4.4.1.2 Ipotesi di una nuova linea

Dopo aver analizzato la situazione attuale, sintetizzata nei bacini di Figura 78 e Figura 79, si è proceduto con lo studio di fattibilità di una nuova linea: una possibilità presa in considerazione è quella di una nuova linea verso i Balcani proveniente dal Tirreno, sia per catturare nuova domanda, sia perché risulta ormai già abbastanza consolidato il mercato dai porti pugliesi nonostante i vuoti lasciati dalle varie compagnie che periodicamente lasciano il servizio⁷⁰. Le ipotesi avanzate prevedono in particolare la partenza da Salerno o Napoli e l'arrivo a Durazzo o Valona: tale linea è infatti inserita nel contesto più ampio dello sviluppo di servizi di car carrier tra il Montenegro e la costa tirrenica del sud Italia, per cui si potrebbe pensare di aprire questi servizi al traffico commerciale Ro-Ro puro, escludendo cioè i passeggeri. Da un punto di vista metodologico, per ciascuna delle quattro tratte alternative, ottenute dalla combinazione dei due porti lato Italia (Salerno o Napoli) e dei due lato Albania (Durazzo o Valona), sono stati calcolati il tempo di giro e il numero di navi necessarie per espletare il servizio, per due ipotesi di velocità della nave (16 nodi e 14 nodi) e due di frequenza del servizio (settimanale e bisettimanale). È stato poi calcolato per le varie alternative anche lo sfrido, ovvero il tempo di inattività in porto della nave una volta erogato il servizio, eventualmente disponibile per una successiva ipotesi di presa in carico di una sosta in un porto intermedio, individuato nei porti siciliani di Messina o di Catania che si trovano lungo la rotta. In Tabella 56 sono riportate tutte le predette caratteristiche dell'offerta per le varie combinazioni di porti.

			16 nodi			14 nodi		
			tempo viaggio [h]			tempo viaggio [h]		
	valona	durazzo						
salerno	25.6	28.4						
napoli	27.0	29.8						
			tempo giro [h]			tempo giro [h]		
	valona	durazzo						
salerno	61.3	66.8						
napoli	63.9	69.5						
			sfrido per bisettimanale [h]			sfrido per bisettimanale [h]		
	valona	durazzo						
salerno	45.4	34.3						
napoli	40.1	28.9						
			sfrido per settimanale [h]			sfrido per settimanale [h]		
	valona	durazzo						
salerno	106.7	101.2						
napoli	104.1	98.5						

miglia nautiche		
	valona	durazzo
salerno	410.4	454.6
napoli	431.4	476.2

Tabella 56 - Ipotesi nuova linea: offerta

⁷⁰ Le ben note vicende di Tirrenia, ad esempio, hanno portato alla cessazione del servizio Bari-Durazzo dal gennaio 2011.

Da una prima analisi delle prestazioni lato offerta e delle caratteristiche dei porti è risultata maggiormente conveniente, lato Italia, una partenza dal porto di Salerno, che ottimizza meglio il giro nave anche se la scelta di Napoli consentirebbe di catturare un po' più di domanda nell'alto Lazio. Lato Albania, invece, la scelta di Durazzo è più vicina alle localizzazioni industriali e di consumo, pur avendo caratteristiche lato offerta meno convenienti. Dunque, si è deciso di procedere verificando la linea Salerno-Durazzo, lasciando come opzioni l'eventuale scalo intermedio a Messina o Catania e valutando poi una eventuale prosecuzione verso Bar in Montenegro⁷¹.

Il primo passo per valutare la fattibilità della linea è il calcolo della tariffa di pareggio, ovvero della tariffa sulla tratta marittima tale che, sommata ai costi di terminalizzazione dall'origine al porto di imbarco della nuova linea e dal porto di sbarco della nuova linea alla destinazione, fornisce gli stessi costi del miglior percorso attuale: essa costituisce teoricamente il limite superiore della tariffa da praticare sulla linea marittima. A titolo di esempio, è stato considerato il trasporto di un bilico non accompagnato sulle tratte Napoli-Tirana e Roma-Tirana (Tabella 57): sono stati prima di tutto analizzati i costi di produzione attuali, quindi sono stati calcolati i corrispondenti costi della terminalizzazione terrestre in origine e in destinazione per la linea marittima Salerno-Valona, infine è stata calcolata la tariffa di pareggio come differenza tra il costo di produzione attuale e le terminalizzazioni terrestri di progetto. I risultati mostrano che si è perfettamente in linea con i valori medi delle tariffe delle tratte di lunghezza media del Mediterraneo Occidentale.

	costo produzione [€]	incidenza tratte terrestri [€]	netto mare [€]	tariffa pareggio su Durazzo [€]	
				ml	miglio
napoli	999	203	796	61.3	1.75
roma	1181	349	832	64.0	1.83

	costo produzione [€]	incidenza tratte terrestri [€]	netto mare [€]	tariffa pareggio su Valona	
				ml	miglio
napoli	999	295	704	54.2	1.72
roma	1181	441	740	56.9	1.80

Tabella 57 – Calcolo della tariffa di pareggio per le coppie o-d Napoli-Tirana e Roma-Tirana

Dopo aver ipotizzato le caratteristiche dell'offerta della nuova linea, si è fatta un'analisi del potenziale bacino di domanda, aggiornando la componente di offerta del DSS inserendovi la nuova linea marittima e procedendo come nel caso delle linee esistenti (paragrafo 4.4.1.1): a tal fine, sono state effettuate tre ipotesi di tariffa per il nuovo servizio, rispettivamente pari a

⁷¹ Tale scelta è stata esplicitamente richiesta nell'ambito del progetto ItalBalk per la rilevanza dei flussi *car carrier* tra Montenegro e Sud Italia.

40 €, 50 € e 60 € per metro lineare di stiva.

In termini di bacino, da tale analisi è emerso che i traffici dalle regioni adriatiche e dal Nord Italia/Estero non sono attraibili, e non lo sono nemmeno quelli lato tirreno dalla Toscana in su, che troverebbero più conveniente o l'accompagnato su Ancona e/o sui porti pugliesi, oppure il non accompagnato su Ancona. Gli unici che sono risultati attraibili sono lato Italia i traffici da Campania, Lazio e eventualmente Calabria/Sicilia se si prevedesse uno scalo intermedio, mentre dalla parte estera la linea sarebbe attrattiva per i soli traffici con l'Albania, se si facesse scalo al porto di Durazzo, o anche per il Montenegro nel caso di scalo al porto di Bar. In ogni caso, per quanto riguarda le quote di ripartizione modale, il DSS restituisce come risultato che oltre il 95% delle merci viaggia via mare, con un'incidenza dell'accompagnato in media pari al 93%. In termini di domanda nel bacino, ne è emerso che nell'ipotesi più bassa di tariffe si è in grado di catturare il 30% della domanda mare attuale, corrispondente a circa il 27,2% di quella complessiva, pari a circa 37.000 tonnellate in export e 24.000 in import, che corrispondono a circa 28 trailer imbarcati in direzione Albania e 25 trailer in direzione Italia, di cui 8 vuoti, nell'ipotesi di tariffa a 40 €/ml, valori che si riducono significativamente passando a 50 e ancor più a 60 €/ml: si riportano i risultati di questa analisi in Tabella 58. Inoltre, il contributo derivante dallo scalare i porti di Messina o Catania è risultato del tutto trascurabile, essendo marginale il contributo sui traffici di Calabria e Sicilia, e dunque tale opzione è stata abbandonata nel seguito.

		tariffa [€/ml]		
		40	50	60
domanda catturata [t]	export	37000	23310	7226
	import	24000	14880	4315
trailer pieni imbarcati per settimana	export	30	19	6
	import	19	12	3
trailer totali imbarcati per settimana	export	30	19	6
	import	23	14	4
ricavo annuo [€]		1,425,667	1,114,913	403,141
ricavo per corsa [€]		13,708	10,720	3,876

Tabella 58 - analisi da modello, scenario di progetto

Per completezza, visto che il bacino della nuova linea attrarrebbe traffici solo dalle regioni tirreniche meridionali, se ne è valutata in Tabella 60 l'incidenza in valore rispetto al totale degli scambi commerciali tra Italia e Albania, espressi per macrozona in Tabella 59. Da tale analisi è emerso che il bacino di attrazione della linea esprime complessivamente il 4.7% del valore delle importazioni e l'8% del valore delle esportazioni.

	Traffici in M€	
	import	export
Nord ovest	124	169
Nord est	132	199
Centro	97	168
Sud	219	303
Isole	3	116
totale italia	575	955
quantità (tonn)	439,000	1,080,000

Tabella 59 - Traffici in valore tra macrozone dell'Italia e Albania (anno 2009)

	Traffici in M€		Incidenza su traffici Italia in valore	
	import	export	import	export
Lazio	5.7	24.5	1.0%	2.6%
Campania	19.4	37.9	3.4%	4.0%
Calabria	0.1	5.8	0.0%	0.6%
Sicilia	1.9	7.9	0.3%	0.8%
totale	27.1	76.1	4.7%	8.0%

Tabella 60 - Traffici in valore tra le regioni di interesse per la nuova linea e l'Albania (anno 2009, valori assoluti e incidenza sul totale nazionale)

Oltre alle suddette analisi condotte a domanda attuale, sono state effettuate anche valutazioni prospettiche a medio termine della domanda, utilizzando il modello gravitazionale descritto nel capitolo 3, così da calcolare il moltiplicatore di domanda in import/export negli scenari futuri in un'ipotesi ottimistica di ripresa economica (scenario alto) e in un'ipotesi più pessimistica (scenario basso), secondo le stesse proiezioni di PIL a livello di Stati per l'area di studio del DSS e a livello di regioni per l'Italia riportate nel paragrafo 4.2.2.1. In Tabella 61 si riportano i risultati separatamente per le diverse tipologie merceologiche al livello NST/R a 1 cifra, presentati anche rispetto al 2008 per consentire un raffronto pre-crisi economica. Dalla suddetta analisi è emerso che i flussi Italia-Albania sono destinati a crescere nel medio termine (ad es. +15% in ipotesi pessimistica e +21% in ipotesi ottimistica tra 2008 e 2015 nel settore macchine e manufatti): in pratica, se l'offerta dovesse rimanere invariata entro 6 anni si assisterebbe alla quasi saturazione della capacità delle linee attuali, che per l'appunto mostrano nello scenario attuale una riserva di capacità valutabile attorno al 30% per i soli traffici merci. Inoltre, ragionando più nel lungo periodo, potrebbe esserci un ulteriore incremento del 25% circa dei flussi import/export dovuto alla creazione di una zona di libero scambio e/o all'ingresso parziale dei Paesi balcanici nell'area UE/Schengen. Tale dato è stato desunto dal progetto FREEMED condotto nel 2007 dal Dipartimento di Ingegneria dei

Trasporti dell'Università di Napoli in collaborazione con LOGICA, di cui si riportano i risultati salienti in termini di variazioni percentuali di import ed export nell'ipotesi di zona di libero scambio Euro-Mediterranea rispettivamente in Figura 80 e Figura 81.

NSTR/O	moltiplicatore flussi Italia-Albania			
	2008 - 2010	2008 - 2015 (basso)	2008 - 2015 (alto)	2010 - 2015 (alto)
0 Prodotti agricoli e animali vivi	1,029	1,145	1,219	1,185
1 Derrate alimentari e foraggiere	1,029	1,145	1,219	1,185
2 Combustibili minerali solidi	1,047	1,150	1,226	1,170
3 Prodotti petroliferi	1,047	1,150	1,226	1,170
4 Minerali e cascami per la metallurgia	1,012	1,122	1,183	1,170
5 Prodotti metallurgici	1,012	1,122	1,183	1,170
6 Minerali greggi o manufatti e materiali da costruzione	1,012	1,122	1,183	1,170
7 Concimi	1,012	1,122	1,183	1,170
8 Prodotti chimici	1,012	1,122	1,183	1,170
9 Macchine, veicoli, oggetti manufatti e transazioni speciali	1,020	1,158	1,239	1,214

NSTR/O	moltiplicatore flussi Albania-Italia			
	2008 - 2010	2008 - 2015 (basso)	2008 - 2015 (alto)	2010 - 2015 (alto)
0 Prodotti agricoli e animali vivi	1,067	1,196	1,299	1,217
1 Derrate alimentari e foraggiere	1,067	1,196	1,299	1,217
2 Combustibili minerali solidi	1,032	1,130	1,195	1,158
3 Prodotti petroliferi	1,032	1,130	1,195	1,158
4 Minerali e cascami per la metallurgia	1,086	1,222	1,340	1,234
5 Prodotti metallurgici	1,086	1,222	1,340	1,234
6 Minerali greggi o manufatti e materiali da costruzione	1,086	1,222	1,340	1,234
7 Concimi	1,086	1,222	1,340	1,234
8 Prodotti chimici	1,086	1,222	1,340	1,234
9 Macchine, veicoli, oggetti manufatti e transazioni speciali	1,099	1,265	1,410	1,283

Tabella 61 – Flussi Italia-Albania: moltiplicatore dei flussi negli scenari di progetto derivante dal modello gravitazionale

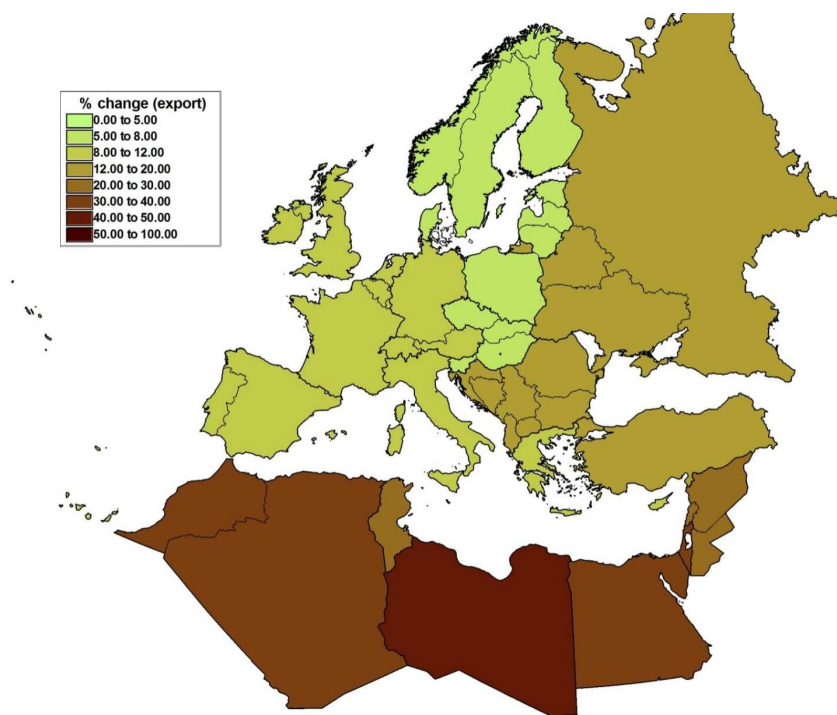


Figura 80 - Variazioni % export in seguito alla creazione della zona di libero scambio Euro-Mediterranea (elaborazioni progetto FREEMED)

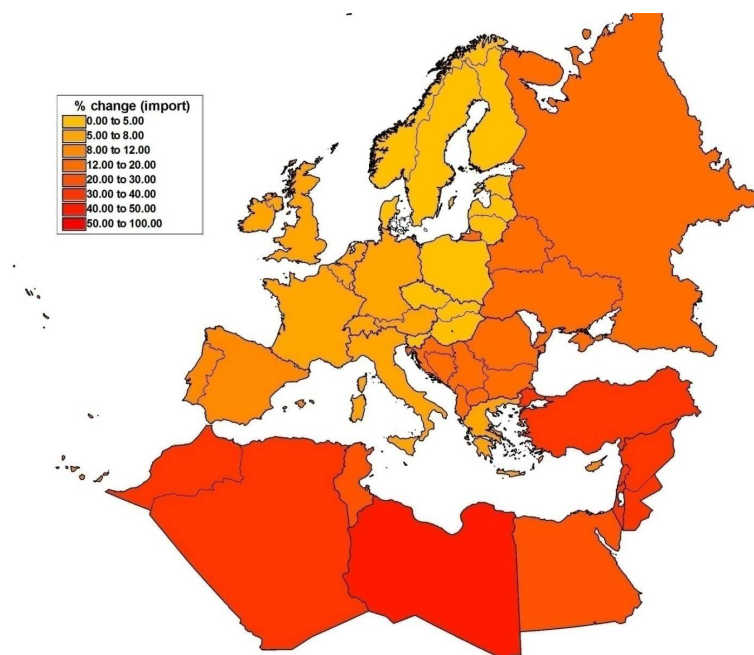


Figura 81 - Variazioni % import in seguito alla creazione della zona di libero scambio Euro-Mediterranea (elaborazioni progetto FREEMED)

Una volta effettuata la stima della domanda e dei ricavi della linea di progetto (Tabella 58), occorre calcolare il costo marittimo totale annuo che dovrebbe sostenere la compagnia di navigazione, con la seguente formula:

$$CM_t = C_f + C_{equ} + C_{seter} + C_{ass} + C_{man} + C_{agen} + C_{IFO} + C_{SEC} + C_{OIL} + C_P \quad (4.1)$$

dove CM_t è il costo marittimo totale annuo, C_f il costo finanziario annuo della nave, C_{equ} il costo annuo dell'equipaggio, C_{seter} il costo annuo dei servizi di terra (piazzalisti), C_{ass} il costo di assicurazione annuo, C_{man} il costo di manutenzione annuo, C_{agen} le spese di agenzia annue, C_{IFO} il costo annuo del carburante per i propulsori principali, C_{SEC} il costo annuo del gasolio per motori generatori ausiliari, C_{OIL} il costo annuo per il consumo di olio lubrificante e C_P i costi portuali annui nei porti di imbarco e di sbarco. Il calcolo delle varie voci di costo è stato effettuato in primis aggiornando i costi già rilevati nell'ambito dello studio di fattibilità di un'Autostrada del Mare Napoli-Barcellona redatto da LOGICA ed EAV nel 2004. Per l'aggiornamento sono state contattate compagnie di navigazione, operatori portuali, autorità portuali e società di bunkeraggio, che hanno fornito dati aggiornati alla fine del 2010. Nel calcolo dei costi si è ovviamente tenuto conto della presenza di aliquote non dipendenti dalle prestazioni tecniche del servizio (e.g. assicurazione) e di aliquote funzione delle scelte progettuali di servizio (e.g. consumi).

Analizzando più in dettaglio le singole voci di costo, per quanto riguarda il costo

finanziario della nave bisogna distinguere tra l'ipotesi di acquisto e quella di wet lease. Nel caso di acquisto per solo servizio Ro-Ro il costo medio del naviglio tipo è pari a 60.000.000 €. Considerando ad esempio come modalità di acquisto un anticipo del 50% e un mutuo di durata 15 anni del restante 50%, avremo una quota di ammortamento di 2.350.000 €/anno. Sommando a queste le spese del personale, 630.000 €/anno circa, nell'ipotesi di 15 unità a costo medio mensile di 3.846 €/uomo, si ottiene un totale di 2.980.000 €/anno. Nel caso di wet lease, nell'ipotesi di Ro-Ro si avrebbe un costo finanziario annuo della nave pari 3.000.000 €/anno, mentre nell'ipotesi di servizio Ro-Pax sarebbe di 4.380.000 €/anno. Il costo dei servizi a terra, nell'ipotesi di 2 piazzalisti per porto ad un costo mensile di 2.000 €/uomo, sarebbe di 96.000 €/anno. Il costo annuo di assicurazione sarebbe invece pari a 420.000 €/anno, assumendo che l'incidenza dell'assicurazione sia lo 0.7% del valore della nave (in genere varia tra lo 0.35% e lo 0.8%). Come costo annuo di manutenzione si è assunto un valore medio di 500.000 €/anno, anche se di norma è un costo fortemente variabile in ragione delle caratteristiche del naviglio e della struttura dei costi operativi della compagnia. Il costo annuo di agenzia è stato assunto, da rilevazioni dirette effettuate da LOGICA, pari a 150.000 €/anno. Il costo del carburante dipende dalle caratteristiche del motore. Assumendo ad esempio che la potenza installata per i generatori sia pari a 1/4 di quella per i motori principali e che la velocità di crociera sia pari a 16 nodi⁷², avremo bisogno di 1300 kg/h di nafta pesante per i motori principali per 120 ore settimanali e 500 kg/h di nafta leggera per i motori ausiliari per 168 ore settimanali. Essendo le quotazioni bunker aggiornate a dicembre 2010 pari a 353 €/tonn per nafta pesante e 543 €/tonn per nafta leggera, i costi complessivi per il carburante ammonterebbero a 2.753.000 €/anno per la nafta pesante e 2.280.000 €/anno per la nafta leggera. Per quanto riguarda l'olio lubrificante, si è ipotizzato un consumo di 6 kg/h per i motori principali e 0.6 kg/h per motori ausiliari. Essendo il costo dell'olio lubrificante pari a 2.1 €/kg, stima a dicembre 2010, e considerando un funzionamento di 120 ore settimanali per i motori principali e 168 per quelli ausiliari, il costo complessivo annuo sarebbe pari a 73.500 €/anno. Infine, il costo delle spese portuali, in seguito ad analisi dirette sui porti di interesse, è stato assunto pari a 1.100.00 €/anno, comprensivo di costi riferiti alle operazioni portuali della nave e costi legati alle operazioni di imbarco/sbarco che la compagnia di navigazione affida all'impresa portuale. In Tabella 62 è riportata una sintesi della stima delle voci di costo annue sopra descritte per la linea marittima in questione: essa può essere confrontata direttamente con i ricavi da traffico riportati in Tabella 58, pervenendo al risultato che nell'ipotesi più

⁷² Tale ipotesi è ampiamente accettabile considerando che si tratta di un servizio Ro-Ro puro.

ottimistica di domanda catturata, sarebbe coperto solo il 13% dei costi. Ciò significa che il contributo principale alla sostenibilità della linea non può venire da tale traffico Ro-Ro, che piuttosto può accrescere solamente il revenue di un servizio che deve giocoforza sostenersi con il traffico car carrier.

Voce di spesa	Costo annuo [€]
ammortamento annuo	3.000.000
piazzalisti	96.000
manutenzione	500.000
assicurazione	420.000
agenzia	150.000
carburante principale	2.753.000
carburante ausiliari	2.280.000
olio	73.500
spese portuali	1.100.000
totale	10.372.500

Tabella 62 – Valore delle singole voci del costo marittimo totale annuo per il servizio di progetto tra Salerno e Valona

In ogni caso, per mostrare le potenzialità applicative del DSS, è inoltre possibile effettuare una prima valutazione aggregata degli impatti esterni del nuovo collegamento marittimo in questione. In particolare è risultato nell'ipotesi più ottimistica un carico di circa 3140 trailer/tir per anno che oggi si imbarcano nei porti pugliesi e che nell'ipotesi di progetto si imbarcherebbero a Salerno. Calcolando da modello la differenza di percorrenza stradale lato Italia nel raggiungimento dei due porti da ciascuna origine provinciale nel bacino di domanda della linea, si otterrebbe un risparmio annuo di circa 1.040.000 veicoli·km. Tale risparmio sarebbe in buona parte concentrato sulla A16, che è però caratterizzata oggi da dati di traffico abbastanza scarsi, con un TGM di circa 2.300 veicoli pesanti per direzione. L'impatto della linea sarebbe quindi di una riduzione dei flussi sulla A16 di circa il 2%, senza apprezzabili effetti su inquinamento e incidentalità. L'aggravio di veicoli km nel tessuto urbano di Salerno è quantificabile invece in circa 50.000 veicoli km anno, anche qui con un impatto trascurabile rispetto ai flussi merci che già interessano il porto con riferimento alle altre autostrade del mare in esso attestare.

4.4.2 Studio di fattibilità di un collegamento Ro-Ro tra Italia e Marocco

4.4.2.1 Situazione attuale

La stessa tipologia di analisi condotta nel paragrafo 4.4.1 è stata ripetuta per la valutazione di un collegamento di tipo Ro-Pax tra Italia e Marocco, nell'ambito del progetto *ItalMed* portato

avanti con LOGICA. La situazione attuale del corridoio marittimo di collegamento tra Italia e Marocco (Figura 82, con indicazione delle distanze in miglia nautiche) nel segmento Ro-Ro/Ro-Pax vede come player attivi Grandi Navi Veloci (GNV) e Grimaldi, la prima sulla linea Genova-Barcellona-Tangeri con una corsa settimanale dal 2007 e poi con corse bisettimanali dal 2009, la seconda sulla linea Livorno-Valencia-Tangeri con servizio settimanale, modificato dal mese di aprile 2011 scalando Barcellona e non più Valencia. Lato Marocco, per entrambi i servizi, dal 2010 i traghetti sono stati spostati sul nuovo porto di TangerMed abbandonando il vecchio porto di TangerVille. Ci sono inoltre molti servizi Ro-Ro e Ro-Pax dalla Francia e dalla Spagna verso il Marocco e anche servizi multipurpose Ro-Ro da Livorno effettuati da Grimaldi e ancora molti servizi container dall'Italia, opzione quest'ultima resa comunque competitiva dalle distanze marittime che rendono il nolo del container conveniente a volte rispetto alla tariffa Ro-Ro. I navigli utilizzati da entrambe le compagnie sono di recente costruzione, coerenti con i principi dei *cruise ferries* per offrire adeguato comfort ai passeggeri, sono in grado di viaggiare a velocità superiori ai 23 nodi trasportando mediamente più di 2000 passeggeri con 750 auto al seguito. Per quando riguarda le tariffe attualmente applicate, in media 2 adulti più bambino più auto viaggiano pagando circa 700 € a tratta mentre per le merci il prezzo è circa 1600 € per un trailer non accompagnato e 1900 € per un trailer accompagnato.

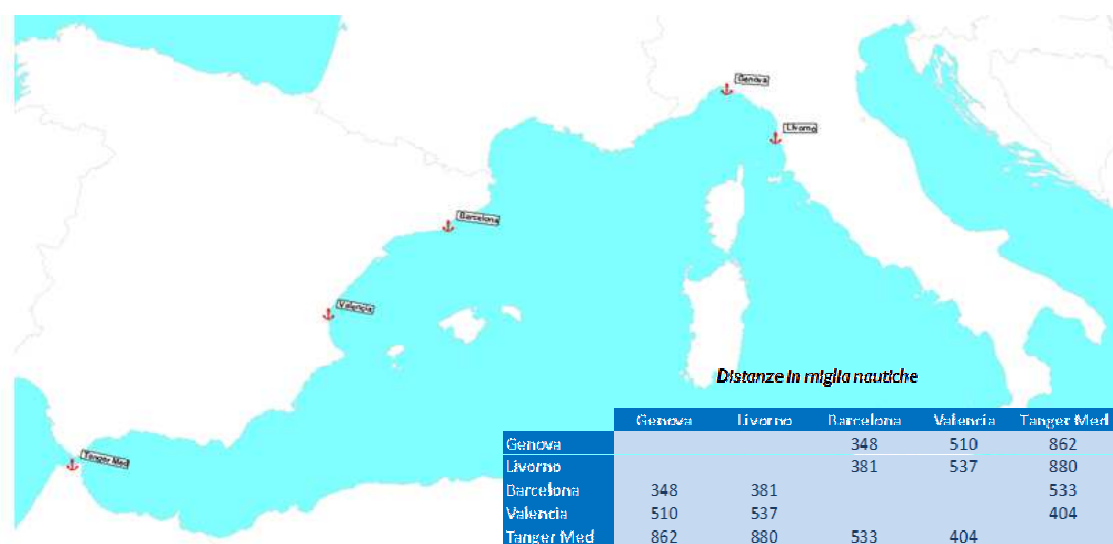


Figura 82 – Corridoio marittimo Italia-Marocco: porti coinvolti in servizi Ro-Ro e Ro-Pax e distanze in miglia nautiche

In termini generali, per quanto riguarda la domanda di trasporto, in seguito ad elaborazioni su dati ISTAT Coeweb e EUROSTAT (2008), si sono analizzati i flussi commerciali tra Italia e Marocco, riportati in Tabella 63 e in Tabella 64 rispettivamente in quantità e in valore per

macroarea geografica.

zona geografica	flussi commerciali [tons]		flussi commerciali [%]	
	import	export	import	export
nord ovest	130.024	269.168	32%	35%
nord est	160.104	238.141	39%	31%
centro	58.222	129.897	14%	17%
sud	43.858	97.385	11%	12%
isole	17.018	45.471	4%	6%
totale	409.225	780.064		

Tabella 63 – Scambi commerciali tra macrozone Italiane e Marocco: dati in tonnellate e incidenza percentuale (2008)

zona geografica	flussi commerciali [€]		flussi commerciali [%]	
	import	export	import	export
nord ovest	€ 207.765.588	€ 684.083.143	34%	41%
nord est	€ 221.497.850	€ 495.865.742	36%	29%
centro	€ 70.313.284	€ 202.703.999	12%	12%
sud	€ 53.643.577	€ 152.683.145	9%	9%
isole	€ 55.934.461	€ 146.807.359	9%	9%
totale	€ 609.154.760	€ 1.684.295.940		

Tabella 64 - Scambi commerciali tra macrozone Italiane e Marocco: dati in valore e incidenza percentuale (2008)

Dalle tabelle precedenti si denota che la domanda è fortemente sbilanciata, il 71% delle importazioni in quantità e il 66% delle esportazioni riguarda il solo nord Italia, mentre Centro, Sud e Isole si dividono la restante quota di mercato. Inoltre in termini assoluti, come è da attendersi, il saldo tra import ed export è più marcato in valore che in quantità. Si riportano inoltre gli stessi dati disaggregati per categoria merceologica e tipo di carico relativi alle esportazioni (Tabella 65) e alle importazioni (Tabella 66).

NSTR/O		Italia -Marocco [tons]		
		container	non container	totale
0	Prodotti agricoli e animali vivi	8.262	48.435	56.696
1	Derrate alimentari e foraggiere	6.552	26.152	32.704
2	Combustibili minerali solidi	992	8.702	9.695
3	Prodotti petroliferi	1.271	124.099	125.370
4	Minerali e cascami per la metallurgia	589	34.921	35.510
5	Prodotti metallurgici	15.828	75.219	91.047
6	Minerali greggi o manufatti e materiali da costruzione	102.979	30.270	133.250
7	Concimi	798	6.362	7.160
8	Prodotti chimici	43.857	16.840	60.697
9	Macchine, veicoli, oggetti manufatti e transazioni speciali	129.282	98.653	227.935
	totale	310.411	469.653	780.064

Tabella 65 - Esportazioni 2008 per categoria merceologica e tipo di carico

NSTR/O		Marocco - Italia [tons]		
		container	non container	totale
0	Prodotti agricoli e animali vivi	7.833	5.634	13.467
1	Derrate alimentari e foraggiere	29.618	14.155	43.773
2	Combustibili minerali solidi	15		15
3	Prodotti petroliferi	15	20.605	20.619
4	Minerali e cascami per la metallurgia	1.873	47.767	49.640
5	Prodotti metallurgici	2.533	206	2.739
6	Minerali greggi o manufatti e materiali da costruzione	14.085	37.147	51.232
7	Concimi	39	135.888	135.928
8	Prodotti chimici	3.923	61.106	65.029
9	Macchine, veicoli, oggetti manufatti e transazioni speciali	8.611	18.172	26.783
totale		68.545	340.680	409.225

Tabella 66 - Importazioni 2008 per categoria merceologica e tipo di carico

Come si evince dalle tabelle, i flussi containerizzati rappresentano circa il 40% del totale dei traffici in esportazione e il 16% in importazione. Le merceologie più appetibili per i traffici RoRo e RoPax appartengono alle categorie merceologiche NST/R 0, 1 e 9, che insieme costituiscono il 40% delle esportazioni (317.000 tonnellate, di cui 173.000 non containerizzate) e il 21% delle importazioni (84.000 tonnellate di cui 37.000 non containerizzate). I dati sopra riportati si riferiscono al 2008, quindi al periodo pre-crisi economica. Nel 2010, come si evince dalla Tabella 67 sotto riportata, si è avuto un aumento delle esportazioni a dispetto della congiuntura economica sfavorevole, mentre le importazioni hanno subito una battuta di arresto. Le quote modali sono rimaste invece sostanzialmente inalterate nel tempo, con la quasi totalità dei traffici che attraversa le frontiere italiane via mare, e pochi trasportatori che si servono via strada di porti francesi o spagnoli per raggiungere il Marocco.

anno	flussi commerciali [tons]							
	mare		ferrovia		strada		aereo	
	import	export	import	export	import	export	import	export
2008	383.224	777.536	-	11	24.402	22.608	1.471	583
2009	246.237	894.988	-	1	18.430	16.634	812	502
2010	374.390	853.457	5	4	16.398	13.574	1.194	556

Tabella 67 - Andamento dei flussi commerciali nel triennio 2008 – 2010 tra Italia e Marocco, suddivisi per modo di trasporto e direzione del flusso

Si è effettuata inoltre un'analisi della domanda per regione italiana, a partire dai dati import ed export sui flussi commerciali ottenuti ancora una volta da fonte ISTAT Coeweb al 2008 e riportati in Tabella 68, sono stati fatti dei tematismi per provincia italiana, utilizzando il modello di provincializzazione e il modello gravitazionale descritti nel Capitolo 3. A titolo di esempio, è rappresentata una schematizzazione grafica delle esportazioni e delle importazioni totali, rispettivamente in Figura 83 e in Figura 84.

regione	flussi commerciali [€]		flussi commerciali [%]	
	import	export	import	export
Piemonte	€ 118.889.884	€ 182.694.275	20%	11%
Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste	€ -	€ 3.982.016	0%	0%
Lombardia	€ 75.078.150	€ 476.167.218	12%	28%
Liguria	€ 13.797.554	€ 21.239.634	2%	1%
Trentino-Alto Adige	€ 4.905.640	€ 9.013.768	1%	1%
Veneto	€ 84.312.200	€ 181.494.290	14%	11%
Friuli-Venezia Giulia	€ 3.606.908	€ 77.131.464	1%	5%
Emilia Romagna	€ 128.673.102	€ 228.226.220	21%	14%
Toscana	€ 46.829.821	€ 116.195.367	8%	7%
Umbria	€ 702.104	€ 16.208.706	0%	1%
Marche	€ 12.747.001	€ 27.497.175	2%	2%
Lazio	€ 10.034.358	€ 42.802.751	2%	3%
Abruzzo	€ 20.967.369	€ 35.790.629	3%	2%
Molise	€ 680.207	€ 3.343.315	0%	0%
Campania	€ 20.430.534	€ 33.934.330	3%	2%
Puglia	€ 9.888.835	€ 27.484.264	2%	2%
Basilicata	€ 352.755	€ 11.204.647	0%	1%
Calabria	€ 1.323.877	€ 40.925.960	0%	2%
Sicilia	€ 21.981.847	€ 104.181.437	4%	6%
Sardegna	€ 33.952.614	€ 42.625.922	6%	3%
Regioni diverse o non specificate	€ -	€ 2.152.552	0%	0%
totale	€ 609.154.760	€ 1.684.295.940		

Tabella 68 - Flussi in valore tra regioni italiane e Marocco, dati al 2008 [€]

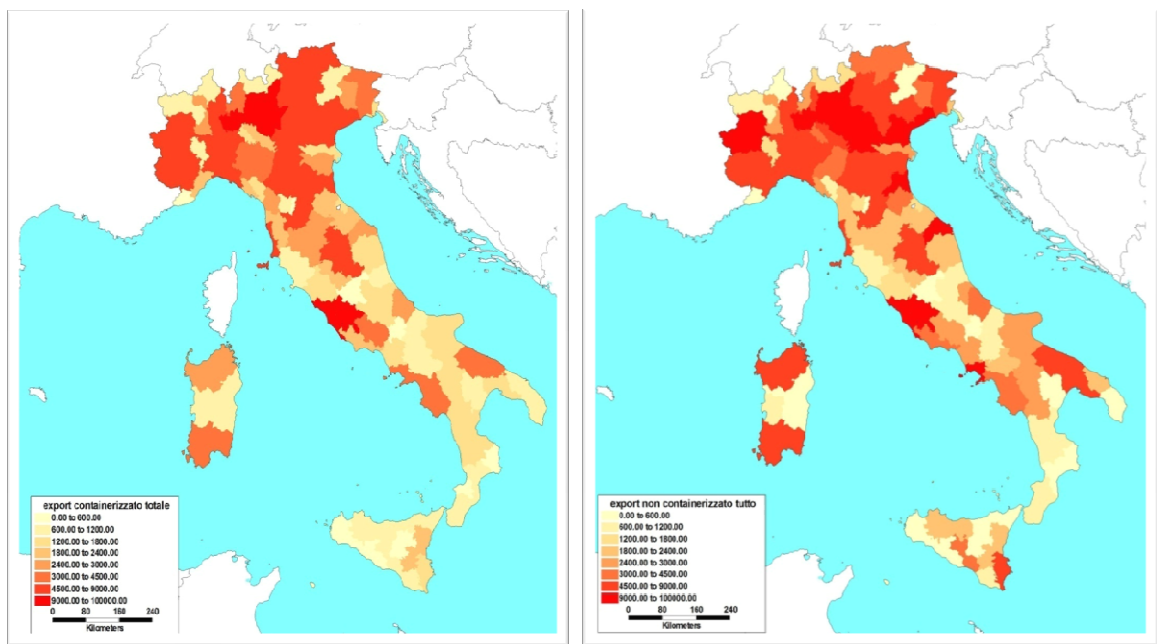


Figura 83 - Esportazioni containerizzate (a sinistra) e non containerizzate (a destra) totali per regione italiana in quantità (dati in tonnellate, anno 2008)

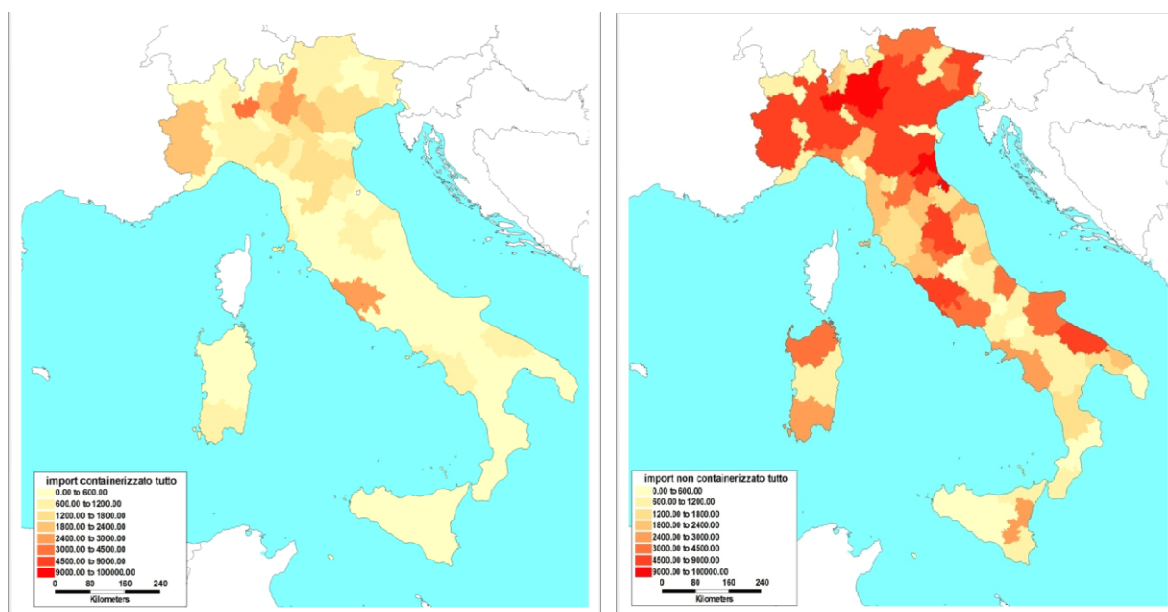


Figura 84 – Importazioni containerizzate (a sinistra) e non containerizzate (a destra) totali per regione italiana in quantità (dati in tonnellate, anno 2008)

A titolo di completezza, per supportare lo studio di fattibilità, è stata effettuata anche una ricognizione della domanda passeggeri tra Italia e Marocco, ovviamente non coperta dal DSS. Ciò che prevale è il fenomeno di rientro a casa per i periodi festivi per la maggior parte dei marocchini residenti all'estero, per i quali risulta fortemente attrattivo il trasporto marittimo per la possibilità di trasportare merci che altrimenti avrebbero difficoltà di imbarco via aereo. Guardando alla UE, la percentuale di marocchini residenti in Italia sul totale è passata dal 7% del 1993 al 13% del 2005, con una crescita in valore assoluto da 91.000 a 345.000 unità. Anche per essi, così come per le merci, la distribuzione è fortemente sbilanciata tra le macrozone italiane, come evidenziato nella seguente Tabella 69, dalla quale si evince che il 74% risiede al Nord, il 14% al centro e il 12% tra Sud e isole, e quasi il 70% è concentrato in sole 4 regioni italiane. Campania e Lazio ne raccolgono insieme appena il 5%.

Regione	Residenti	% Italia
Lombardia	89.127	24%
Emilia Romagna	56.910	16%
Piemonte	53.461	15%
Veneto	49.653	14%
Toscana	21.387	6%
Campania	9.987	3%
Liguria	9.760	3%
Sicilia	9.374	3%
Lazio	9.170	3%
Trentino Alto Adige	6.919	2%
Puglia	5.514	2%
Altre regioni	44.646	12%
Totali	365.908	100%

Tabella 69 - Distribuzione marocchini residenti in Italia per regione (fonte: dati ISTAT/Caritas)

Il corrispondente aumento del traffico passeggeri è deducibile anche dai dati per compagnia di navigazione, GNV ad esempio ha dichiarato di aver trasportato sulla tratta Genova-Barcellona-Tangeri circa 62.000 passeggeri e 2.500 trailer nel 2008, mentre nel 2009 più del doppio dei passeggeri, 132.000, e quasi lo stesso numero di trailer, 2.586.

Con la stessa procedura descritta nel paragrafo 4.4.1, è stata condotta un'analisi da modello dei bacini attuali. Si riporta, a titolo di esempio, in Figura 85 il bacino nazionale del servizio GNV da Genova prima dell'attivazione della linea Grimaldi da Livorno. È da notare, in questo caso, che non vi sono dati certi di domanda trasportata né a livello di porto né a livello di compagnia di navigazione, per cui questa analisi rappresenta la sola fonte di valutazione dello scenario attuale.

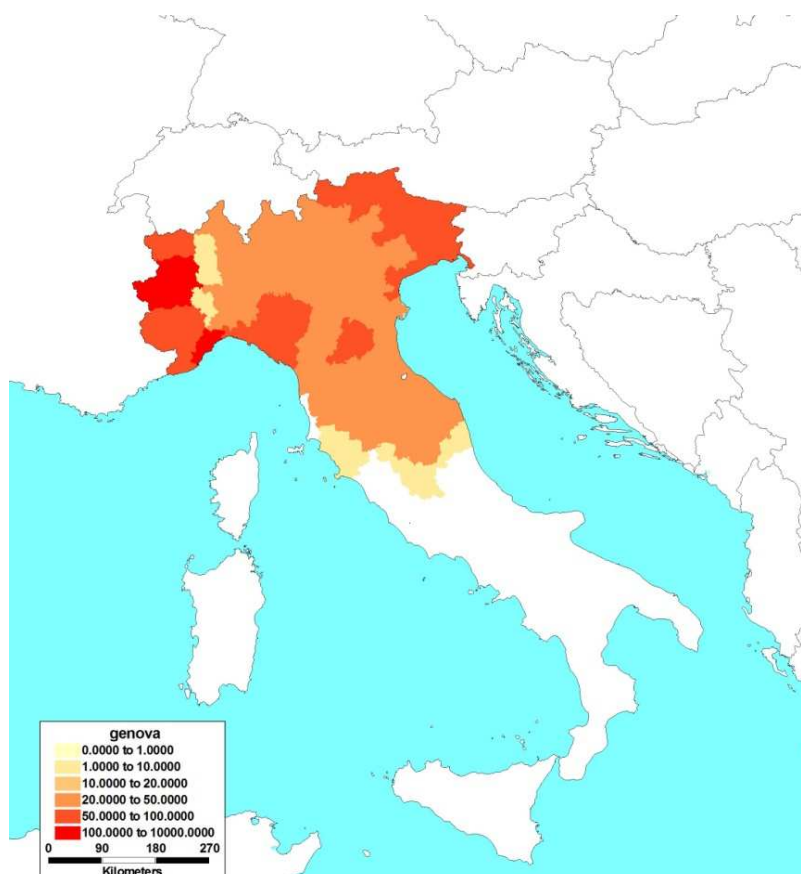


Figura 85 – Bacino della linea Genova-Barcellona-Tangeri prima dell'ingresso nel mercato di Grimaldi con l'attivazione della linea da Livorno (dati in tonnellate/anno, 2008)

4.4.2.2 Ipotesi di una nuova linea

Al fine di valutare la fattibilità di un nuovo collegamento tra Italia e Marocco, si è innanzitutto verificata la competitività relativa dei porti dell'arco tirrenico, assumendo per ipotesi che siano tutti collegati con il Marocco con nuovi servizi ipotetici con tariffe in linea

con quelle dei servizi esistenti. Sono quindi stati tracciati, con la stessa metodologia descritta in precedenza, i bacini delle tre linee in modo da confrontarli direttamente tra loro: in particolare, si sono rappresentati in dettaglio i bacini nazionali (da Figura 86 a Figura 88), le prospettive internazionali di *land bridge* (Figura 89), e si è poi fornito un quadro di sintesi in Figura 90.

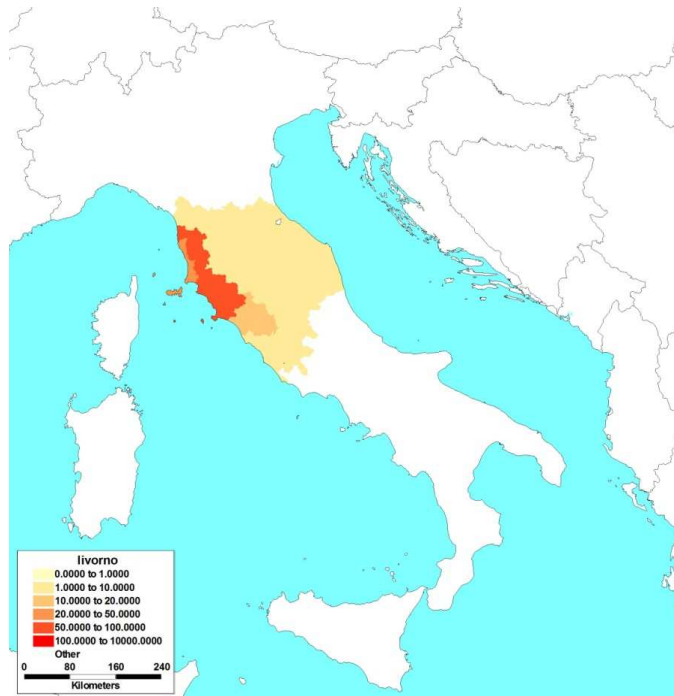


Figura 86 – Ipotesi di nuova linea: bacino nazionale linea Livorno-TangerMed (tonn/anno, domanda attuale)



Figura 87 - Ipotesi di nuova linea: bacino nazionale linea Civitavecchia-TangerMed (tonn/anno, domanda attuale)



Figura 88 - Ipotesi di nuova linea: bacino nazionale linea Salerno-TangerMed (tonn/anno, domanda attuale)

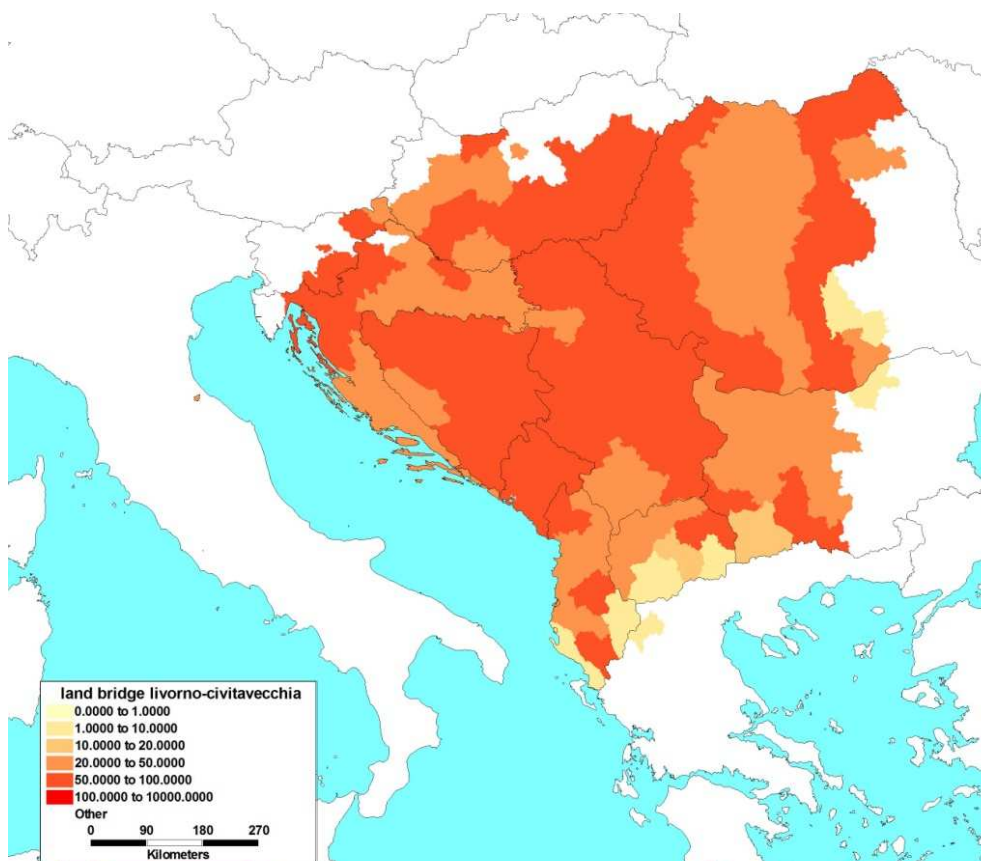


Figura 89 - Ipotesi di nuova linea: bacino internazionale linee da Civitavecchia e da Livorno verso TangerMed (tonn/anno, domanda attuale)

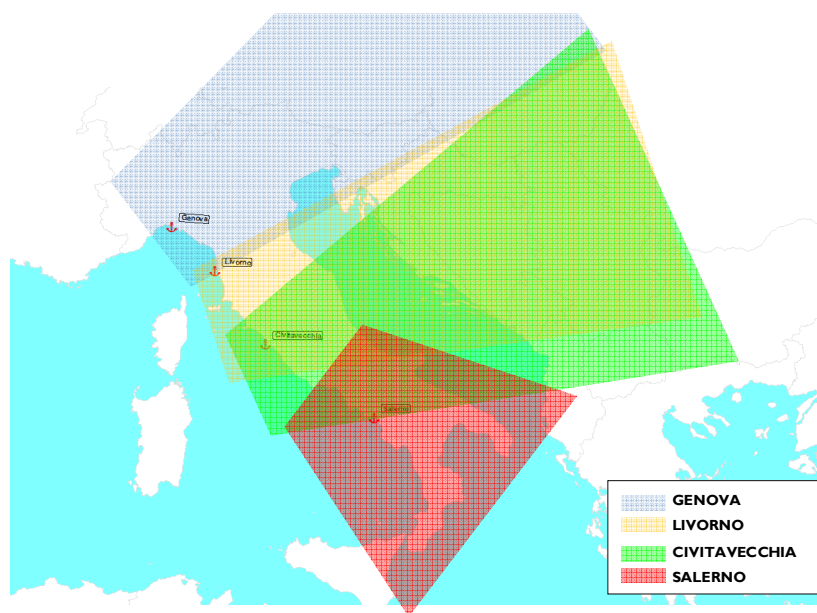


Figura 90 – Quadro di sintesi bacini di domanda dei porti italiani verso TangerMed in ipotesi di contemporanea presenza di servizi

In termini di costo generalizzato, va innanzitutto sottolineato che per ciascuna delle tratte è assolutamente prevalente il non accompagnato a causa delle distanze mediamente percorse via mare. In dettaglio, dalle rappresentazioni grafiche dei suddetti bacini si può facilmente notare, lato Italia, che il bacino di Genova è limitato a sud ma raccoglie quasi interamente l'area che esprime la maggior parte della domanda e che i bacini di Livorno e Civitavecchia sono parzialmente sovrapposti, così come quelli di Civitavecchia e Salerno. Lato estero, invece, si può notare che il bacino di Genova è strutturalmente limitato a ovest dai numerosi servizi dai porti francesi, mentre a est raccoglie una buona parte di Europa a nord di Trieste. Per l'area balcanica prevalgono nettamente Livorno e Civitavecchia: d'altra parte, la tratta Ancona-Genova ha un tempo di viaggio di circa 6.5 ore contro le 4 di Ancona-Civitavecchia e le 4.75 di Ancona-Livorno. Il bacino di Salerno non ha di fatto espansione internazionale. In Tabella 70 sono riportati i carichi per linea corrispondenti ai predetti bacini di domanda.

direttrice	tonn/anno	trailer/anno
Genova - Tangeri	63.872	2.661
Tangeri - Genova	39.035	1.626
Livorno - Tangeri	25.491	1.062
Tangeri - Livorno	15.498	646
Civitavecchia - Tangeri	25.386	1.058
Tangeri - Civitavecchia	17.717	738
Salerno - Tangeri	10.887	454
Tangeri - Salerno	2.576	107

Tabella 70 - Domanda attuale da modello

Tali dati giustificerebbero una linea merci da Civitavecchia e Salerno insieme, dato che i due porti nel complesso movimentano più di Livorno, anche se sarebbero molto più carenti sui passeggeri per quanto prima detto, riducendo così il revenue delle compagnie.

Così come per l'Albania, anche nel caso del Marocco è stato poi applicato il modello gravitazionale del DSS in modo da effettuare delle valutazioni prospettiche a medio termine al 2015 nelle due ipotesi di scenario alto e basso (paragrafo 4.2.2.1) separatamente per le diverse tipologie merceologiche al livello NST/R a 1 cifra. I risultati sono presentati in termini di moltiplicatori in Tabella 71, ancora una volta rispetto al 2008 per consentire un raffronto pre-crisi economica, e in termini di flussi in tonnellate in Tabella 72, insieme a quelli osservati nel 2007 e nel 2010 per permetterne un più immediato confronto.

Dalla suddetta analisi è emerso che i flussi Italia-Marocco sono destinati a crescere nel medio termine, ad es. +18% in ipotesi pessimistica e +27% in ipotesi ottimistica tra 2008 e 2015 nel settore macchine e manufatti, con tassi di crescita previsti tra i più alti nel Mediterraneo, anche se non si è tenuto conto dell'evoluzione della situazione di instabilità politica in nord Africa. Ne consegue quindi che nei prossimi cinque anni c'è margine per un ulteriore incremento di frequenza, in prima battuta sempre da Genova e probabilmente da Livorno, soprattutto se il traffico passeggeri continua a crescere ai tassi richiamati in precedenza. Per quanto riguarda il lungo periodo, invece, la zona di libero scambio, i cui effetti sono stati sintetizzati in Figura 80 e Figura 81, potrebbe portare ad un incremento dei flussi import/export di un ulteriore 35% circa.

NSTR/O	moltiplicatore flussi Italia-Marocco			
	2008 - 2010	2008 - 2015 (basso)	2008 - 2015 (alto)	2010 - 2015 (alto)
0 Prodotti agricoli e animali vivi	1,036	1,168	1,253	1,210
1 Derrate alimentari e foraggiere	1,036	1,168	1,253	1,210
2 Combustibili minerali solidi	1,054	1,174	1,261	1,196
3 Prodotti petroliferi	1,054	1,174	1,261	1,196
4 Minerali e cascami per la metallurgia	1,017	1,141	1,211	1,191
5 Prodotti metallurgici	1,017	1,141	1,211	1,191
6 Minerali greggi o manufatti e materiali da costruzione	1,017	1,141	1,211	1,191
7 Concimi	1,017	1,141	1,211	1,191
8 Prodotti chimici	1,017	1,141	1,211	1,191
9 Macchine, veicoli, oggetti manufatti e transazioni speciali	1,027	1,183	1,275	1,242

NSTR/O	moltiplicatore flussi Marocco-Italia			
	2008 - 2010	2008 - 2015 (basso)	2008 - 2015 (alto)	2010 - 2015 (alto)
0 Prodotti agricoli e animali vivi	1,076	1,229	1,348	1,252
1 Derrate alimentari e foraggiere	1,076	1,229	1,348	1,252
2 Combustibili minerali solidi	1,038	1,151	1,226	1,180
3 Prodotti petroliferi	1,038	1,151	1,226	1,180
4 Minerali e cascami per la metallurgia	1,097	1,259	1,397	1,274
5 Prodotti metallurgici	1,097	1,259	1,397	1,274
6 Minerali greggi o manufatti e materiali da costruzione	1,097	1,259	1,397	1,274
7 Concimi	1,097	1,259	1,397	1,274
8 Prodotti chimici	1,097	1,259	1,397	1,274
9 Macchine, veicoli, oggetti manufatti e transazioni speciali	1,111	1,311	1,480	1,332

Tabella 71 – Moltiplicatori del modello gravitazionale: ipotesi di scenario di domanda Italia-Marocco al 2015

zona	flussi export Italia (milioni di tonnellate/anno)					
	2007	2010	2015 (alto)	2015 (basso)	% 2010 - 2015 (alto)	% 2010 - 2015 (basso)
Africa Nordoccidentale	5,12	5,23	6,26	5,88	20%	12%
Africa Nordorientale	7,10	7,43	9,06	8,41	22%	13%
Albania, Grecia e Turchia	9,56	9,20	10,15	9,95	10%	8%
Balcani, Romania e Bulgaria	9,92	9,46	10,87	10,54	15%	11%
Danimarca e Scandinavia	3,39	3,19	3,58	3,52	12%	10%
Est Europa	6,68	6,48	7,53	7,24	16%	12%
Europa Centrale	31,19	29,68	32,70	32,18	10%	8%
Francia, Belgio e UK	28,78	27,61	30,55	29,93	11%	8%
Penisola Iberica	16,96	16,05	17,48	17,29	9%	8%
Russia e Baltico	2,43	2,28	2,67	2,59	17%	14%
UK e Irlanda	7,25	6,80	7,68	7,53	13%	11%

zona	flussi import Italia (milioni di tonnellate/anno)					
	2007	2010	2015 (alto)	2015 (basso)	% 2010 - 2015 (alto)	% 2010 - 2015 (basso)
Africa Nordoccidentale	4,88	5,01	5,97	5,60	19%	12%
Africa Nordorientale	38,41	39,43	48,82	45,38	24%	15%
Albania, Grecia e Turchia	8,89	8,64	9,83	9,51	14%	10%
Balcani, Romania e Bulgaria	15,74	15,10	17,54	16,92	16%	12%
Danimarca e Scandinavia	7,26	6,93	7,78	7,60	12%	10%
Est Europa	9,66	9,42	11,29	10,72	20%	14%
Europa Centrale	44,39	42,57	47,17	46,20	11%	9%
Francia, Belgio e UK	36,86	35,57	39,54	38,60	11%	9%
Penisola Iberica	9,22	8,73	9,55	9,43	9%	8%
Russia e Baltico	34,97	33,37	39,41	37,89	18%	14%
UK e Irlanda	4,94	4,66	5,30	5,17	14%	11%

Tabella 72 – Flussi Italia-Marocco da modello gravitazionale: ipotesi di scenario di domanda Italia-Marocco al 2015 e confronto con i flussi al 2007 e al 2010

Per giungere ad una sintesi di fattibilità, il calcolo delle spese annue che dovrebbe sostenere la compagnia di navigazione è stato effettuato con lo stesso procedimento descritto nel paragrafo 4.4.1.2, pervenendo alla stima complessiva riportata in Tabella 73.

voce di spesa	costo annuo [€]
ammortamento annuo	6.100.000
piazzalisti	96.000
manutenzione	1.000.000
assicurazione	700.000
agenzia	150.000
carburante principale	7.000.000
carburante ausiliari	3.192.000
olio	73.500
spese portuali	1.100.000
totale	19.411.500

Tabella 73 - Singole voci del costo marittimo totale annuo

I costi così calcolati (a nave nuova) si coprono solo su una rotta in cui sono prevalenti i traffici passeggeri, infatti in termini di trailer i circa 20 milioni di euro/anno corrispondono a circa 10.000 trailer/anno alle tariffe attuali, mentre come visto la domanda attraiibile a sud di Livorno non supera i 2.300 trailer/anno. D'altra parte, anche andando a 16 nodi con una Ro-Ro pura, a costi dimezzati rispetto a quelli sopra esposti, la domanda potenziale sarebbe ben lontana dal valore di pareggio di circa 5.000 trailer/anno. Dunque, piuttosto che pensare alla fattibilità di una nuova linea, ha più senso porsi il problema di razionalizzare l'offerta

esistente per meglio servire il centro-sud Italia.

In tal senso, come già anticipato precedentemente, dal mese di aprile 2011 Grimaldi ha modificato l'itinerario della linea da Livorno, scalando Barcellona e non più Valencia. Essendoci già una linea di Grimaldi da Civitavecchia a Barcellona che parte tutte le sere alle 22:15 e arriva a Barcellona alle 18:15 – ovvero sei ore prima che il sabato parta la nave da Barcellona per Tangeri proveniente da Livorno – il porto di Barcellona arriva a svolgere un ruolo di *hub* per il trasporto Ro-Ro tra Italia e Marocco. Purtroppo, considerando che Salerno ha un servizio trisettimanale con Valencia e non con Barcellona, il sud Italia è al momento tagliato fuori da questa rete.

4.5 Analisi dei traffici stradali sui corridoi pan-europei nei Balcani

L'ultima applicazione proposta nella tesi si riferisce ad una semplice analisi dei traffici stradali in alcuni corridoi pan-europei nei Balcani, la cui mappa è riportata nella seguente Figura 91. In particolare, oggetto di valutazione è la competitività relativa del corridoio IV e del corridoio X, il primo lungo l'asse Romania-Bulgaria e il secondo nel territorio della Serbia.

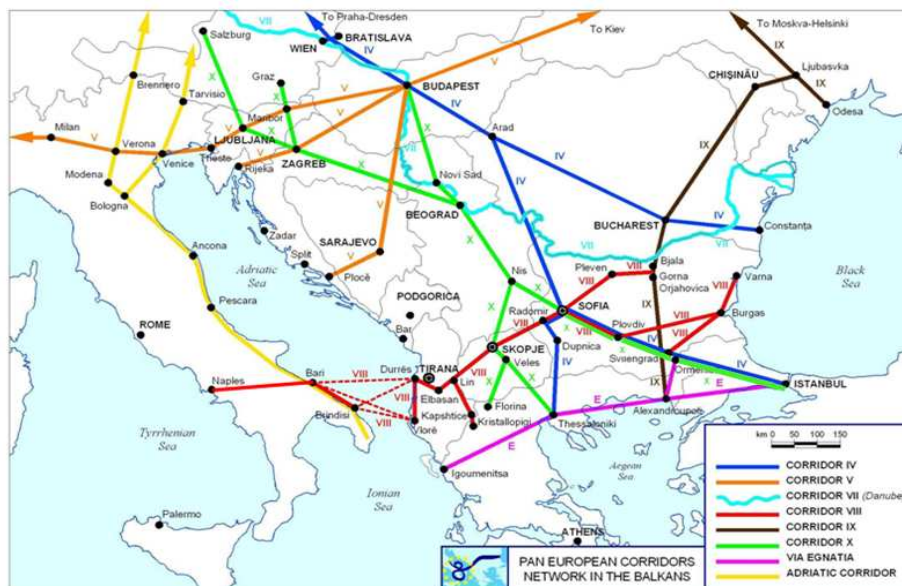


Figura 91 – Mappa dei corridoi pan-europei nei Balcani

In particolare, il corridoio che passa per la Serbia comporta una rilevante perdita di tempo perché richiede due controlli doganali di frontiera con l'EU, ma è d'altra parte ben infrastrutturato; quello che attraversa Bulgaria e Romania ha problemi infrastrutturali notevoli

soprattutto perché oggi non ci sono ponti sul Danubio, anche se d'altra parte è molto più semplice utilizzarlo perché non occorre oltrepassare controlli di frontiera rilevanti. Poiché l'UE sta attualmente costruendo i ponti sul Danubio per ovviare alle carenze del corridoio IV, il traffico in futuro si dovrebbe spostare su di esso, riducendo quindi i flussi in attraversamento nella Serbia e i potenziali effetti economici indotti da esso derivanti. Per questo motivo, si è voluto valutare l'effetto di compensazione derivante da possibili accordi doganali tra Serbia e UE, volti a migliorare i tempi di viaggio complessivi riducendo drasticamente i controlli di frontiera. Da un punto di vista modellistico, il DSS è stato utilizzato implementando innanzitutto uno scenario di offerta futuro, assumendo come anno il 2020, in cui siano rimossi i vincoli di frontiera in Serbia (aree in blu in Figura 92) e siano costruiti i ponti sul Danubio (aree in rosso in Figura 92). Si sono anche aggiunte nel modello di offerta futuro le cosiddette infrastrutture “invarianti”, cioè quelle che sono già state finanziate e la cui realizzazione sarà sicuramente completata entro tale termine. Una volta calcolati i nuovi attributi di offerta, si è proceduto ad aggiornare le matrici origine-destinazione con il modello di domanda, modificando le variabili esplicative relative sia alle prestazioni dell'offerta di trasporto sia al PIL, che è stato proiettato al 2020 utilizzando le ipotesi “basse” di crescita dichiarate nel paragrafo 4.2.2.1. Si è trattato infine di assegnare la domanda futura calcolata col modello gravitazionale al modello di offerta aggiornato con entrambe le variazioni predette, verificando quindi l'entità finale dei flussi sui due corridoi.



Figura 92 – Assegnazione al 2020 ai corridoi pan-europei nei Balcani: scenario di progetto per valutazione di competitività tra corridoio X e corridoio IV

Complessivamente, il principale risultato è che al valico di Dimitrovgrad tra Serbia e Bulgaria nello scenario di progetto si passerà dagli attuali 950 veicoli merci pesanti/giorno a circa 1500 veicoli merci pesanti/giorno, quindi con un aumento superiore al 50%: ciò sottolinea la necessità di perseguire politiche di integrazione doganale tra Serbia e UE.

5 PROSPETTIVE SULL'INTERAZIONE TRA TRASPORTO MERCİ ED ECONOMIA

5.1 Introduzione

Il presente capitolo suggerisce alcuni spunti di riflessione, utili per una futura fase di ricerca, emersi nel corso dell'implementazione del DSS e in particolare della componente relativa alla quantificazione degli impatti di PIL di interventi sul sistema di trasporto merci, modellati nella presente ricerca attraverso un modello MRIO a scala europea (paragrafo 3.7). L'assunto di partenza è che, nella sua versione base, il modello MRIO coglie solo una retroazione semplificata tra il sistema di trasporto e il sistema economico, attraverso il PIL. Nella realtà, invece, esistono complessi cicli di retroazione tra i predetti sistemi e molto spesso, soprattutto alle scale geografiche continentale e mondiale, bisognerebbe tenerne conto per simulare correttamente i flussi negli scenari di progetto.

Ovviamente, nel compiere questo passo occorre iniziare a comprendere innanzitutto i meccanismi che si intende riprodurre, ed a questo scopo è stata condotta una specifica ricognizione, presentata nel paragrafo 5.2. A partire da questi riscontri, si è infine posto l'accento sulle possibilità di evoluzione dai modelli MRIO descritti nel paragrafo 3.7 ai modelli della cosiddetta New Economic Geography (NEG), di cui si discute nel paragrafo 5.3.

5.2 Relazioni tra trasporti, logistica, consumo e produzione industriale

Gli assetti economici e le conseguenze sociali e culturali delle diverse aree geografiche sono stati sempre profondamente influenzati dalle innovazioni tecnologiche. Alcune di queste hanno consentito principalmente una riduzione dei costi di produzione industriali, ad esempio la macchina a vapore, mentre altre hanno inciso sull'assetto economico, sociale e culturale di tutto il pianeta aumentandone l'integrazione come un unico sistema. Si pensi ad esempio a come la possibilità di immagazzinare e distribuire l'energia sotto forma di energia elettrica abbia consentito di trasferire sia nello spazio che nel tempo le attività produttive: nello spazio rispetto alla localizzazione delle materie prime necessarie a produrre energia e nel tempo rispetto al periodo in cui tale energia veniva prodotta.

Ogni prodotto finito nasce da una catena produttiva in cui una serie di materie prime subisce differenti lavorazioni e/o assemblaggi. Le materie prime possono essere acquistate in

luoghi diversi così come le diverse fasi di lavorazione possono avvenire in linea di principio in luoghi diversi. Successivamente il prodotto finito deve raggiungere il consumatore. Tutto questo crea mobilità delle merci dai luoghi di fornitura ai luoghi di produzione, tra i luoghi dove avvengono le diverse fasi della produzione e tra i luoghi di produzione e i consumatori. Movimentare la merce è chiaramente un costo che si somma ai costi di acquisizione delle materie prime e di produzione e che contribuisce quindi a determinare il costo finale di produzione di un bene. Chiaramente, maggiore è il costo di produzione di un bene, maggiore sarà il suo prezzo di vendita e minore sarà la capacità del prodotto stesso di penetrare il mercato.

Queste semplicissime considerazioni sono alla base delle strategie imprenditoriali che le aziende manifatturiere hanno realizzato negli ultimi decenni e che hanno portato a profonde modifiche dell'assetto sociale, economico e produttivo. Infatti, quando i costi di trasporto erano molto alti le attività produttive tendevano a concentrarsi in un unico impianto produttivo che a sua volta tendeva a localizzarsi in prossimità delle zone di maggiore disponibilità di materie prime e/o di maggior consumo. Man mano che i costi di trasporto si sono ridotti, si sono aperte per gli imprenditori nuove prospettive di business. In primo luogo i mercati di vendita si sono espansi fino a diventare globali, nel senso che oggi chiunque produce un qualsiasi bene di consumo ha la potenzialità di venderlo in tutto il mondo visto la bassissima incidenza del costo di trasporto dello stesso rispetto al suo costo di produzione. In secondo luogo, le attività produttive sono state sempre più delocalizzate verso zone che consentivano una riduzione dei costi di produzione, ad esempio per il costo ridotto della manodopera: il risparmio che se ne otteneva in termini di riduzione del costo di produzione più che compensava, infatti, il maggiore costo di trasporto necessario per raggiungere i mercati di consumo. Infine, siccome le diverse attività produttive relative ad uno stesso bene necessitano di diversi livelli di know how e di specializzazione della manodopera, ogni attività ha, in linea di principio, una localizzazione ottimale che consente la minimizzazione dei relativi costi di produzione. Seguendo questa logica, le aziende sono state frammentate, localizzando in modo diverso le diverse attività produttive, sempre in modo da minimizzare il costo di produzione del bene finito.

In Figura 93 è riportato un esempio di supply chain in cui i concetti appena introdotti sono chiariti su di un esempio evidenziando solo elementi connessi allo spostamento fisico delle merci.

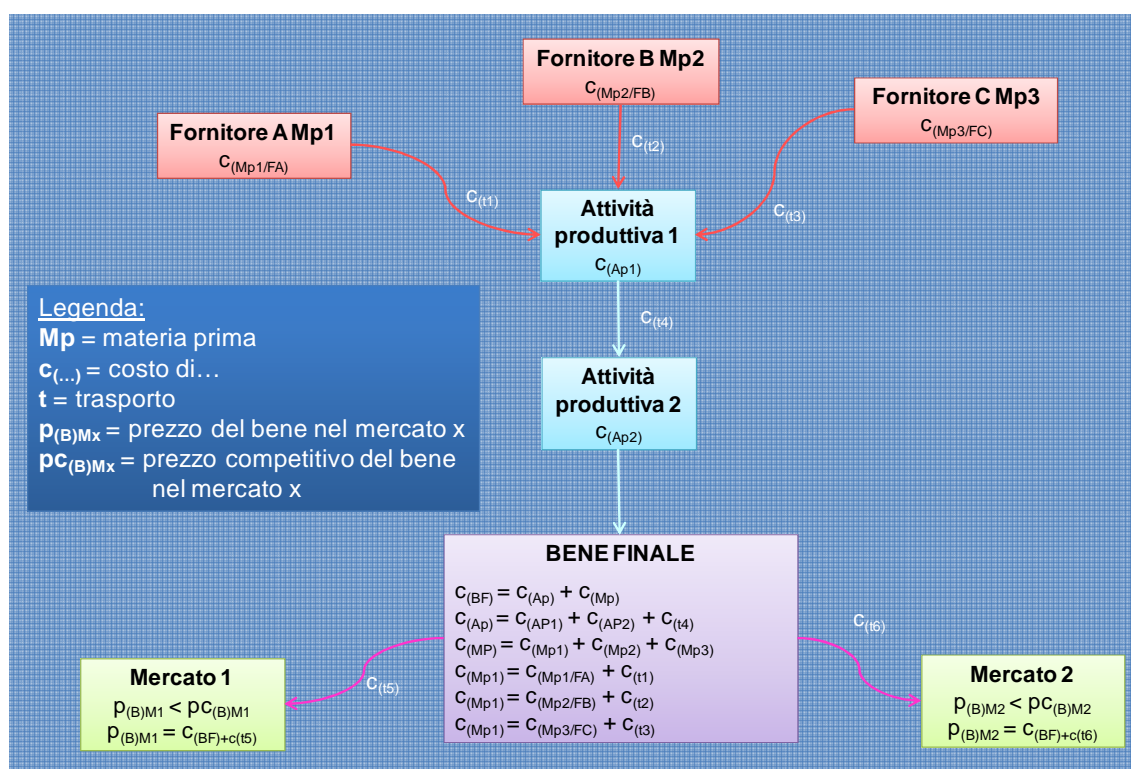


Figura 93 - Esempio di supply chain

In tale esempio, la catena produttiva è immaginata organizzata in due attività produttive sequenziali (1 e 2) localizzate diversamente nello spazio: ad ogni attività produttiva è associato un costo di produzione $c_{(AP)}$ mentre il costo complessivo di produzione è somma dei costi di produzione delle singole attività produttive e dei costi di movimentazione dei semilavorati tra i diversi luoghi di produzione. Nell'esempio specifico tale costo è pari a:

$$c_{(Ap)} = c_{(Ap1)} + c_{(Ap2)} + c_{(t4)} \quad (5.1)$$

Per svolgere la prima attività produttiva si è supposto inoltre di avere bisogno di tre tipologie diverse di materie prime, Mp, acquisite da tre diversi fornitori diversamente localizzati nello spazio: ad ognuna di queste forniture è associato un costo, $c_{(Mp)}$, che è dato dalla somma del costo di acquisizione di Mp dallo specifico fornitore $c_{(Mp/F)}$ e dal costo di movimentazione di Mp dal fornitore al luogo di produzione:

$$c_{(Mp1)} = c_{(Mp1/FA)} + c_{(t1)}$$

$$c_{(Mp2)} = c_{(Mp2/FB)} + c_{(t2)} \quad (5.2)$$

$$c_{(Mp3)} = c_{(Mp3/FC)} + c_{(t3)}$$

Il costo finale di produzione del bene, $c_{(BF)}$, è dato dalla somma dei costi complessivi delle forniture di materie prime, $c_{(Mp)}$, e dei costi complessivi di produzione, $c_{(Ap)}$:

$$c_{(BF)} = c_{(Mp)} + c_{(Ap)} \quad (5.3)$$

con:

$$c_{(Mp)} = c_{(Mp1)} + c_{(Mp2)} + c_{(Mp3)} \quad (5.4)$$

Come si vede, i costi di movimentazione della merce $c_{(t)}$ contribuiscono a determinare il costo finale di produzione di un bene e possono essere a tutti gli effetti considerati quindi dei fattori di produzione: la scelta del fornitore A per la materia prima 1 proviene, tra le altre, da considerazioni di convenienza complessiva secondo le quali A non sarà in generale il fornitore che vende Mp1 al prezzo più competitivo (cioè quello dove è minimo $c_{(Mp1/F)}$) ma semplicemente il fornitore dal quale è più conveniente rifornirsi per questa attività produttiva in funzione della sua localizzazione e della (5.2) (cioè quello dove è minimo $c_{(Mp1/F)} + c_{(t)}$). Allo stesso modo la scelta di frammentare le attività produttive in due sotto attività (1 e 2) localizzate differentemente nello spazio, introduce una maggiore spesa del “fattore” trasporto, $c_{(t4)}$, ma riduce evidentemente i costi totali di produzione (5.1) rispetto a quelli che si sarebbero avuti concentrando tutte le attività produttive in un luogo unico.

Il prezzo di vendita di questo bene in un determinato mercato di vendita sarà dato a sua volta da $c_{(BF)}$ incrementato del costo necessario per movimentare il bene dal luogo di produzione finale al luogo di vendita⁷³. Tanto minore è il valore di $c_{(BF)}$, tanto maggiore sarà la capacità del prodotto di penetrare il mercato perché maggiore sarà il numero dei mercati finali in cui la somma di queste due aliquote produrrà un prezzo competitivo per quel bene in quel mercato. Nell'esempio di Figura 93, si è supposto che ciò sia vero per due mercati.

Immaginiamo ora che a partire da questo stato di fatto, per effetto di un'innovazione tecnologico/organizzativa, si riducano tutti i costi di trasporto per la movimentazione della merce, $c_{(t)}$, l'intero assetto della catena produttiva, nonché la penetrazione nel mercato finale del bene prodotto potranno subire delle trasformazioni (Figura 94 e Figura 95).

⁷³ In prima approssimazione, per semplificare la trattazione, si possono considerare nulli i margini di guadagno dell'azienda sulla vendita del prodotto, che tendono comunque ad annullarsi in un regime di concorrenza perfetta.

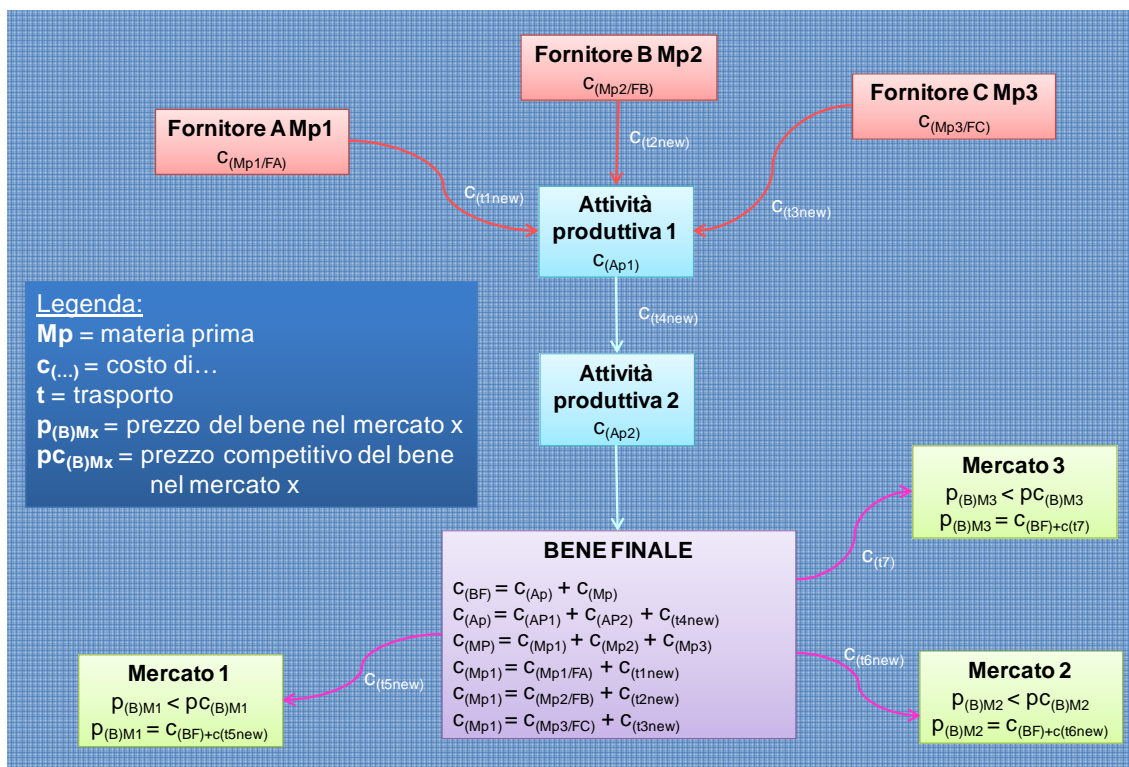


Figura 94 - Variazione di breve periodo della supply chain di Figura 93 e dei mercati di vendita per effetto di una riduzione dei costi di trasporto

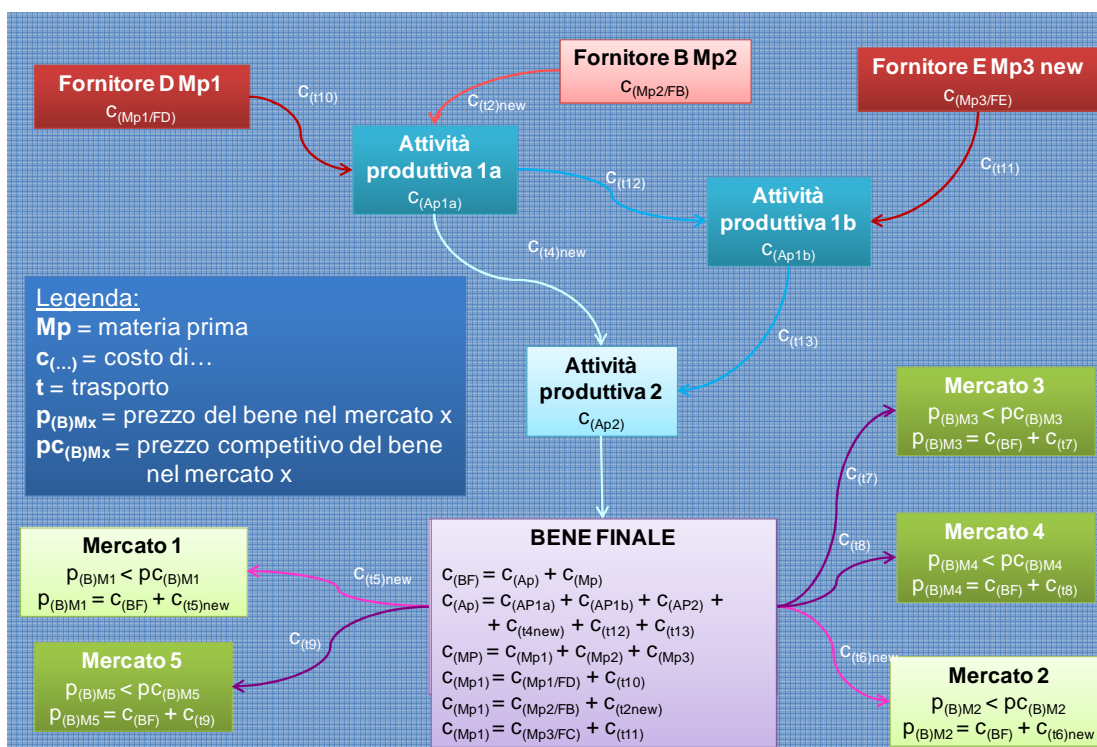


Figura 95 - Variazione di medio lungo periodo della supply chain di Figura 93 e dei mercati di vendita per effetto di una riduzione dei costi di trasporto

In primo luogo, diminuirà il costo di produzione del bene finale perché nella (5.3) si riducono sia i costi di fornitura $c_{(Mp)}$ in virtù delle (5.2), sia i costi di produzione $c_{(Ap)}$ in virtù

della (5.1). Ciò renderà il prodotto più competitivo e vendibile in un numero maggiore di mercati anche perché i costi di raggiungimento dei vari mercati di vendita, che si sommano ai costi di produzione del bene finale determinando i prezzi di vendita nei singoli mercati, saranno anch'essi più bassi. In Figura 94, in particolare, si è ipotizzato che nel breve periodo, la riduzione di tutti i costi di trasporto, e la conseguente riduzione dei costi sia di produzione che di fornitura, consenta la conquista di un terzo nuovo mercato.

Nel medio-lungo periodo, inoltre, le catene produttive potranno essere riorganizzate, nel modo descritto precedentemente, col fine di ridurre ulteriormente i costi di produzione e quindi i prezzi potenziali di vendita nei vari mercati. Il risultato sarà una competitività ancora maggiore del prodotto e una sua conseguente ancora maggiore penetrazione nei mercati di vendita. In virtù dei ridotti costi di trasporto, infatti, potranno risultare più convenienti, cioè con un $c_{(Mp)}$ minore, nuovi fornitori. Nell'esempio in questione, in particolare, si è ipotizzato che, a valle della riduzione dei costi di trasporto, il fornitore della materia prima 1 sia D e non più A in quanto risulterà, evidentemente:

$$c_{(Mp1/FD)} + c_{(t10)} < c_{(Mp1/FA)} + c_{(t1new)}$$

dove con $c_{(t1new)}$ si è indicato il costo di movimentazione della materia prima 1 dal vecchio fornitore A al luogo di produzione nel nuovo scenario con costi di trasporto ridotti. Stessa cosa si è ipotizzata anche per la materia prima 3 che viene acquisita ora dal fornitore E invece che dal fornitore C per le stesse motivazioni.

Sempre nello scenario di riduzione tout court dei costi di trasporto rappresentato in Figura 94, si è inoltre ipotizzato che l'attività produttiva 1 venga scomposta in due sotto attività, 1a e 1b; questa scelta è risultata conveniente perché, evidentemente, la somma dei costi delle attività produttive e dei costi di movimentazione necessari è minore nell'ipotesi di frammentazione rispetto all'organizzazione originaria:

$$c_{(AP1a)} + c_{(AP1b)} + c_{(t4)new} + c_{(t12)} + c_{(t13)} < c_{(AP1)} + c_{(t4)new}$$

Si sono, con questi esempi, esaminati solo gli effetti di primo livello di variazioni del costo di trasporto su produzione e movimentazione di merci. Evidentemente, però, queste trasformazioni si inseriscono in sistemi economici più ampi e complessi, dove entrano in gioco altri fattori. Gli effetti complessivi sull'intero sistema economico possono essere compresi, dunque, solo facendo ricorso a teorie generali che analizzano le relazioni alla base dei meccanismi di produzione, concorrenza, consumo, reddito e così via. Nel prossimo

paragrafo si descriveranno sinteticamente le teorie economiche di maggior rilievo che sono state proposte per spiegare ed interpretare tali relazioni e le si applicheranno per valutare gli effetti della riduzione dei costi dovuti alla rivoluzione del container sugli assetti globali.

5.3 Dai modelli MRIO verso la NEG

L'analisi dell'impatto economico complessivo delle profonde trasformazioni introdotte dalla rivoluzione del container sulle catene produttive e sui mercati di distribuzione può essere compreso utilizzando le teorie economiche che collegano produzione e consumo allo spazio, ossia tengono conto che produzione e consumi avvengono in luoghi diversi. I modelli MRIO, descritti nel paragrafo 3.7, e in particolar modo i modelli dei coefficienti di scambio sono in grado di riprodurre come una variazione dei costi di trasporto modifichi i costi e la struttura delle importazioni di tutte le zone di un territorio e quindi l'assetto economico/produttivo di quel territorio.

Questi rapporti di causa effetto sono riportati in Figura 96 per il caso semplice di 2 regioni (A e B) ed un solo settore economico (M); in particolare le frecce sono colorate in maniera diversa per distinguere le relazioni di proporzionalità diretta (ad un aumento corrisponde un aumento e viceversa) rappresentate in blu dalle relazioni di proporzionalità inversa (ad un aumento corrisponde una diminuzione e viceversa) rappresentate in rosso. Si noti inoltre che, trattandosi di due sole zone, l'import di una zona corrisponde all'export dell'altra. Come si vede dalla figura, ad esempio, un aumento del consumo di M in B induce un aumento sia della produzione di M in B che dell'importazione di M da A a B. Quest'ultima dipende, a sua volta, dal costo di acquisizione di M sia in A che in B con la differenza che se da B voglio acquistare in A, al costo di produzione di M in A dovrò aggiungere il costo per trasportare M da A a B comprensivo di eventuali dazi. L'effetto sul sistema di una variazione dei costi di trasporto merci prima descritto è evidenziato in particolare nella successiva Figura 97 che costituisce un dettaglio della Figura 96. Come si vede, se il costo di trasporto da A a B si riduce, in B costerà meno acquisire quel bene da A rispetto a prima e quindi aumenterà l'importazione da A di quel bene rispetto a prima; questo, a parità di consumi, si tradurrà in un impulso positivo in A e negativo in B alla produzione di quel bene.

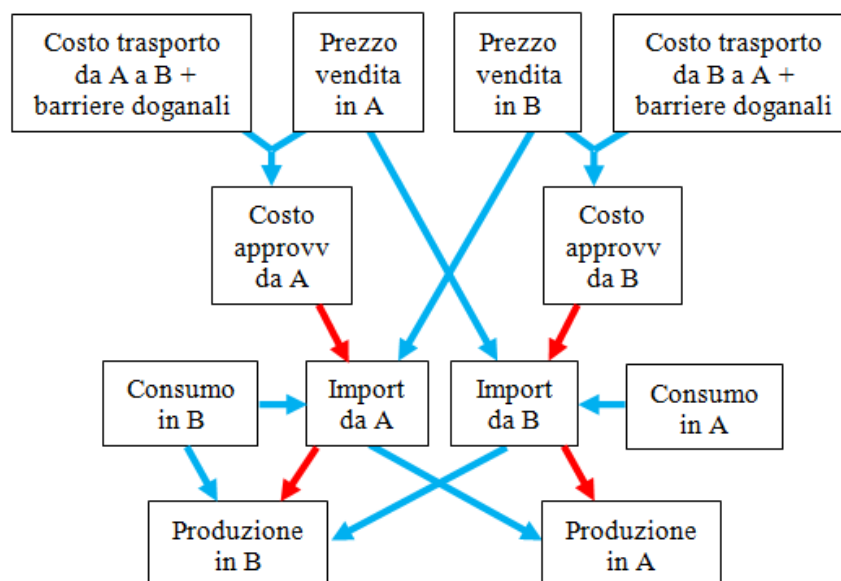


Figura 96 - Schema logico di un modello Input-Output Multiregionale (2 zone, 1 settore)

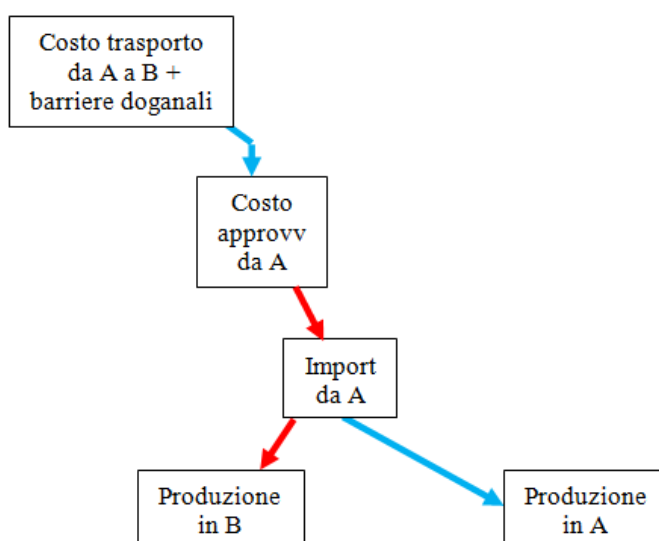


Figura 97 - Modello MRIO (2 zone, 1 settore): impatto di una variazione dei costi di trasporto merci

Chiaramente per produrre m servono beni intermedi, per cui un aumento di produzione di m in j necessita di maggiore produzione in j - e di maggiore importazione da altre zone - anche di questi beni intermedi. Conseguentemente, anche la sola modifica del costo di collegamento tra due zone i e j ha delle ripercussioni sulla produzione di tutte le tipologie di beni in tutte le zone dell'area di studio finché un nuovo equilibrio viene raggiunto.

Questa struttura teorico concettuale è in grado quindi di interpretare e spiegare il fenomeno "globalizzazione". Una riduzione dei costi del trasporto, permette infatti l'espansione dei mercati caratterizzati da un basso prezzo di vendita del bene che riescono via via ad essere

competitivi in porzioni di mondo sempre maggiori.

Inoltre, in considerazione del fatto che quando si parla di beni si parla anche di beni intermedi, applicare questo concetto di espansione dei mercati anche ai beni intermedi vuol dire, in pratica, spiegare e riprodurre la nascita e lo sviluppo delle catene lunghe della produzione. In altre parole, dalle aree/regioni caratterizzate da un basso prezzo di vendita dei beni è conveniente importare non soltanto beni diretti al consumo finale, ma anche beni intermedi diretti al reimpiego produttivo: d'altra parte se aumentano le importazioni di beni intermedi vuol dire che sta aumentando la parzializzazione e la rilocalizzazione delle attività produttive.

Questa struttura concettuale viene ripresa ed integrata successivamente dalle teorie di Krugman nell'ambito della nuova geografia economica (NEG, dall'inglese *New Economic Geography*) in cui gli impatti dei costi del trasporto sull'economia vengono analizzati in maggior dettaglio tenendo conto anche, tra le altre cose, delle economie di scala nei cicli produttivi, e delle reciproche interconnessioni esistenti tra produzione, mercato del lavoro, reddito e consumi che generano dinamiche e cicli di feedback che possono avere diversi tempi di realizzazione. In Figura 98, è riportato lo schema logico di funzionamento della teoria NEG, sempre per due regioni ed un settore, in cui sono stati evidenziati in giallo i fattori e con linee tratteggiate le implicazioni prese ulteriormente in considerazione dalla teoria NEG rispetto alla teoria input-output⁷⁴.

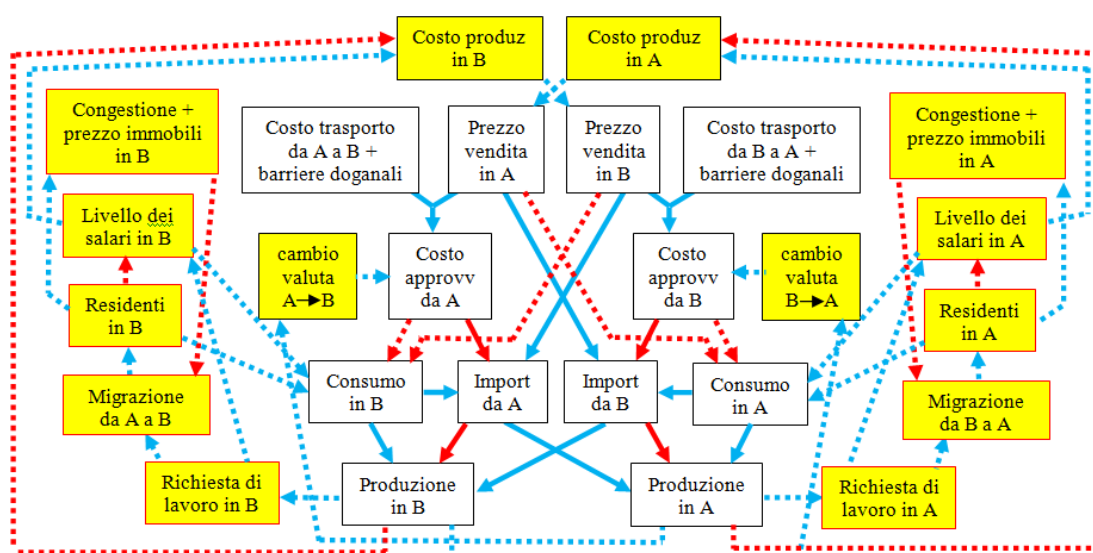


Figura 98 - Schema logico di un modello NEG (2 zone, 1 settore)

⁷⁴ Ci si riferisce qui alla versione più complessa del MRIO, sviluppata da Kockelman et al. (2005).

La Figura 98, pur nel caso molto semplificato di un solo settore economico e due sole zone, consente di cogliere bene le complesse interdipendenze che esistono all'interno di ogni sistema socio economico. Analizzando le differenze con la Figura 96, si osserva innanzitutto come la funzionalità del modello non si esaurisca nel riprodurre la produzione in funzione dei consumi e dei costi di importazione ma, al contrario, dal dato di produzione, partono numerosi cicli di retroazione che vanno ad incidere sul mercato del lavoro e delle residenze e, attraverso questi ultimi, sui consumi, sui costi di produzione e quindi sulla struttura delle importazioni. In questo caso, quindi, una variazione dei costi di trasporto, generando una variazione della struttura delle importazioni e quindi delle produzioni delle varie zone dell'area innesta tutta questa serie di cicli di retroazione finché tutto il sistema non trova un nuovo equilibrio. Per meglio comprendere tutti questi cicli di retroazione è utile analizzarli separatamente a partire dalla Figura 97.

Evitando per brevità di fare riferimento al settore unico preso in considerazione, vediamo, ad esempio, come un aumento di produzione in una zona implica un aumento di richiesta di lavoro in quella zona, che a parità di offerta di quest'ultima tende a generare un aumento dei salari. Questo, da un lato vuol dire maggiore ricchezza, maggiore disponibilità a spendere, maggiori consumi e si riflette, quindi, positivamente sulla produzione stessa (ciclo rafforzativo dell'aumento dei salari). Dall'altro, però, vuol dire aumento dei costi di produzione e dei prezzi di vendita del bene che si riflette negativamente sulla competitività nel mercato di vendita del bene prodotto, riducendone quindi la vendita in altre zone e aumentandone l'acquisto da altre zone. I due impulsi hanno entrambi ricadute negative sulla produzione di quel prodotto nella zona in questione (ciclo autoregolante dell'aumento dei salari). Entrambi i cicli di retroazione appena menzionati sono stati evidenziati nelle seguenti Figura 99 e Figura 100 che costituiscono un dettaglio della Figura 98.

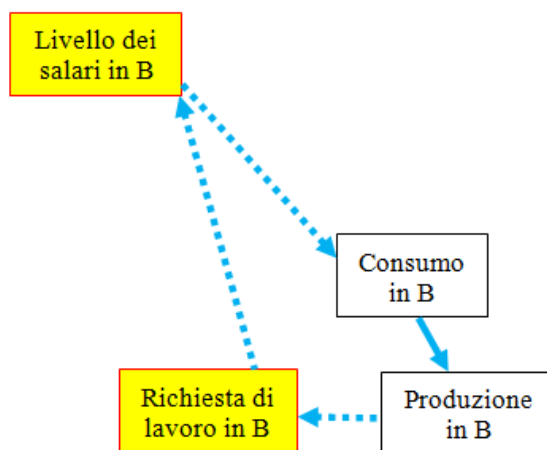


Figura 99 - Modello NEG: ciclo rafforzativo dell'aumento dei salari (2 zone, 1 settore)

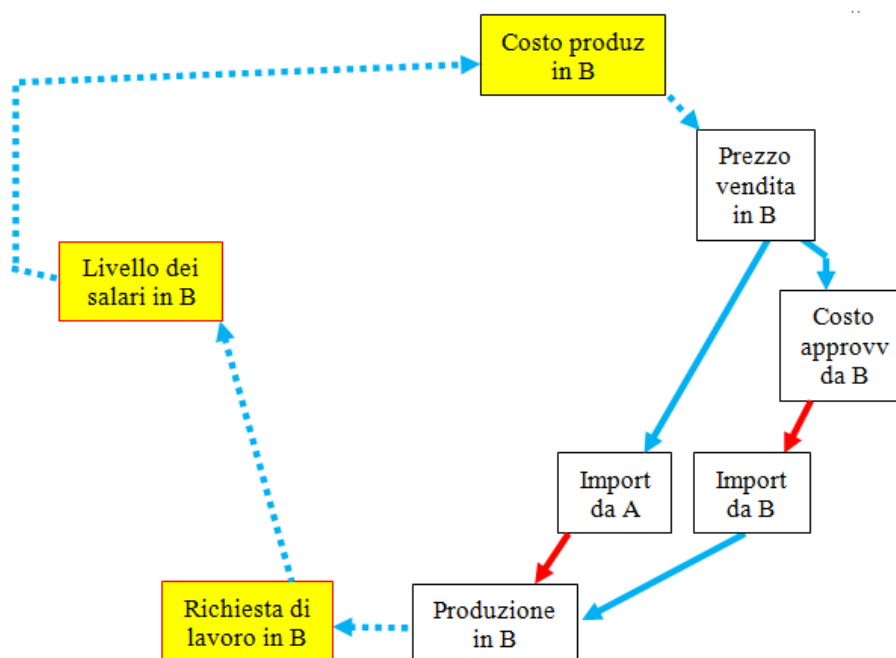


Figura 100 - Modello NEG: ciclo autoregolante dell'aumento dei salari (2 zone, 1 settore)

A complicare ulteriormente le cose, non è affatto detto che un aumento della richiesta di lavoro in una zona faccia aumentare il livello dei salari nella stessa zona, come sembrerebbe analizzando Figura 99 e Figura 100. Infatti, osservando la Figura 98 complessiva, si nota come un aumento di richiesta di lavoro in una zona metta in moto anche fenomeni di migrazione verso quella zona, che tendono a riequilibrare il rapporto tra richiesta e disponibilità di forza lavoro mitigando l'impatto sull'aumento dei salari menzionato precedentemente e rappresentato in Figura 99 e Figura 100. Inoltre, un aumento di popolazione residente in una zona aumenta anche il livello dei consumi di quella zona e questo, come già detto, dà un impulso positivo alla produzione di quella zona. In che misura

si concretizza il fenomeno di migrazione dipende ovviamente, oltre che dalla richiesta di forza lavoro, dall'attrattività della zona (livello di qualità della vita, di congestione, inquinamento, ecc.) e dall'entità delle barriere migratorie (differenze sociali, culturali, vincoli politici) che separano le due zone. È importante inoltre sottolineare che il fenomeno della migrazione, indipendentemente dall'intensità con cui si innesca, tende comunque nel tempo ad auto estinguersi: aumentando il numero dei residenti in una zona, infatti, tendono ad aumentare da un lato il valore degli immobili dall'altro i fenomeni di congestione ed inquinamento, fattori che influenzano entrambi negativamente le condizioni di vivibilità della zona stessa, scoraggiando ulteriori migrazioni. Certo è che la migrazione verso una zona, agendo positivamente sui consumi e negativamente sui salari, può essere definita come un fenomeno rafforzativo del livello di produzione della zona. Tutte le implicazioni appena menzionate sono riportate nella parte sinistra di Figura 101 (sempre ricavata dalla Figura 98) in cui si evidenzia in particolare la relazione di proporzionalità inversa tra richiesta di lavoro e livello dei salari (2 frecce blu ed 1 rossa) che si può attivare in B grazie ad una migrazione di forza lavoro da A verso B. Nella stessa figura è anche evidenziata la relazione di proporzionalità diretta tra numero di residenti e consumi di una zona. Infine, il ciclo autoregolante della migrazione è evidenziato per maggiore chiarezza nella parte destra della figura.

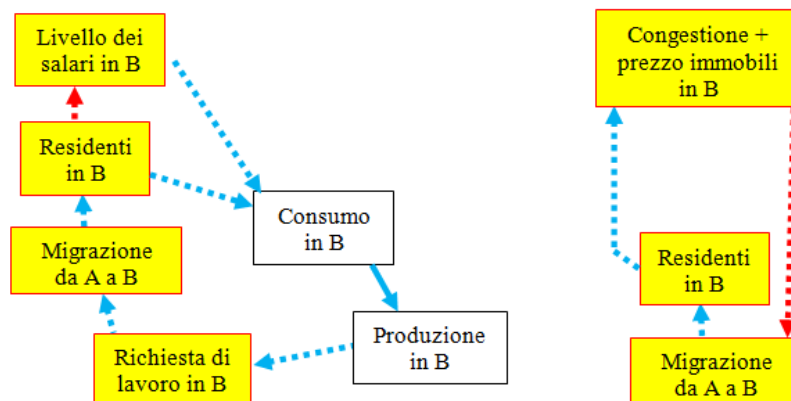


Figura 101 - Modello NEG: ciclo rafforzativo generato dalla migrazione (2 zone, 1 settore)

Un aumento di produzione in una zona, inoltre, in virtù delle economie di scala interne ed esterne (es. avere a disposizione fornitori specializzati, poter disporre di una concentrazione di forza lavoro specializzata e qualificata, poter usufruire di un'ampia circolazione di informazioni e conoscenze tecniche), genera una riduzione dei costi di produzione e dei conseguenti prezzi di vendita in quella zona.

Ciò genererà innanzitutto, per la legge del mercato, un incremento dei consumi di quel

bene e quindi un impulso positivo alla produzione di quel bene in quella zona (Figura 102 parte sinistra). Inoltre, la diminuzione dei prezzi di vendita darà anche un impulso positivo all'esportazione e negativo all'importazione di quel bene in quella zona, con effetti in entrambi i casi benefici sulla produzione di quella zona (Figura 102 parte destra).

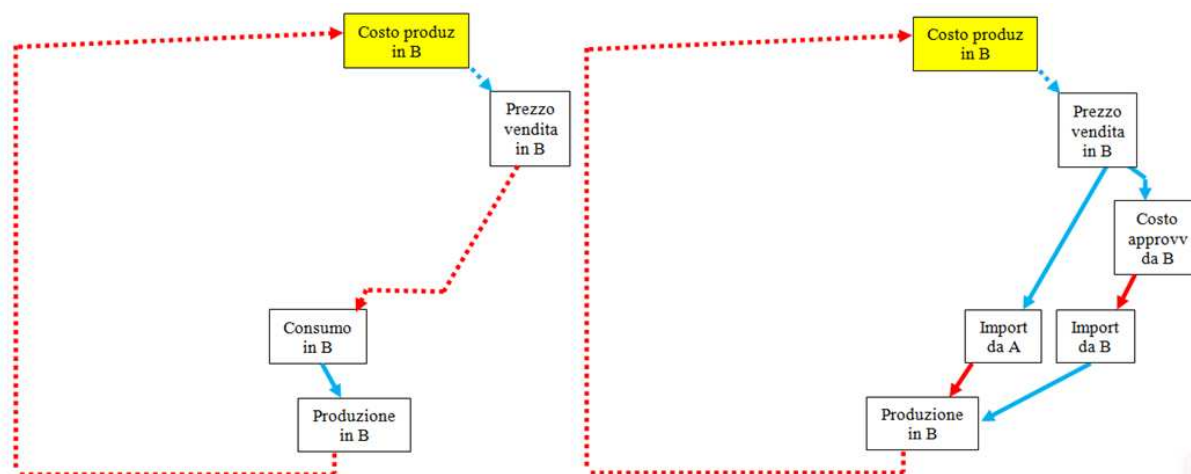


Figura 102 - Modello NEG: ciclo rafforzativo delle economie di scala (2 zone, 1 settore)

Un aumento di produzione in una zona, infine, tende anche a rafforzare (mediamente nel lungo periodo) la moneta di quella zona. Questo ha effetti negativi sulla capacità di esportazione di quella zona ed incoraggia, specularmente, l'importazione da zone con una moneta più “debole” (Figura 103).

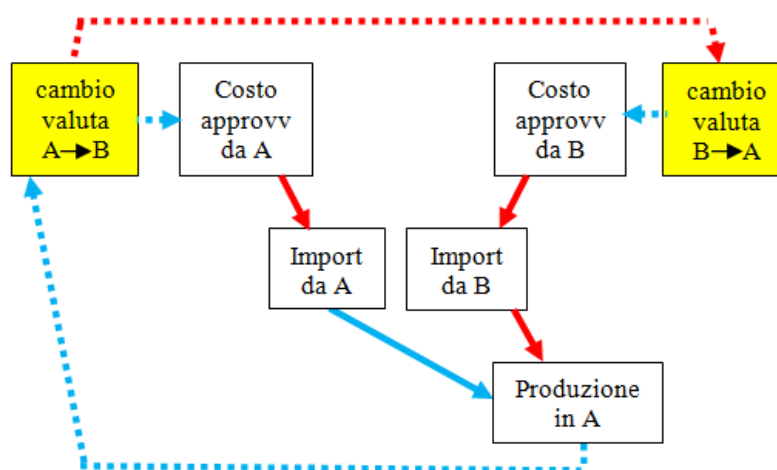


Figura 103 - Modello NEG: ciclo autoregolante dovuto all'effetto valuta (2 zone, 1 settore)

Riassumendo, quindi, anche in una realtà molto semplice caratterizzata da due sole zone e un solo settore produttivo, una qualunque variazione nel sistema produttivo, sociale, culturale, politico o trasportistico, dovuta a iniziative e fenomeni anche casuali, mette in moto l'intero

sistema attraverso numerose relazioni e cicli di retroazione internamente collegati, in cui le barriere fisiche, migratorie e regolatorie tipiche dei sistemi di trasporto giocano un ruolo fondamentale. Questi cicli di retroazione, tra l'altro, si realizzano con tempistiche diverse e con una intensità che dipende da numerosi fattori e condizioni al contorno che cambiano esse stesse nel tempo. Se, infatti, gli equilibri tra consumi, produzione e prezzi di vendita (Figura 102) si verificano gioco forza per la legge del mercato in tempi relativamente brevi, il fenomeno delle economie di scala si realizza generalmente con tempi più lunghi. Ancor più lungo è in genere il tempo con cui si riequilibrano i salari in funzione della variazione del rapporto tra richiesta ed offerta di lavoro; per non parlare dei tempi con cui si realizzano e vengono percepiti quegli impatti negativi sulla qualità della vita, generati da un eccessivo accentramento di popolazione residente, che tende a scoraggiare e a invertire il normale processo di urbanizzazione delle grandi città industrializzate.

Inoltre, quanto un aumento di produzione, e quindi di richiesta di lavoro, in una zona si traduca in un aumento dei salari piuttosto che dei residenti di quella zona dipende dall'intensità con cui si manifestano fenomeni di migrazione verso quella zona che a sua volta dipende dall'attrattività di quella zona in termini di prezzo degli immobili, congestione, ecc. (Figura 104). Sempre da queste barriere, inoltre, dipende l'intensità con cui un aumento di produzione si traduca o meno in una diminuzione dei prezzi di vendita, per i motivi spiegati a monte della Figura 103 e schematizzati nella figura stessa.

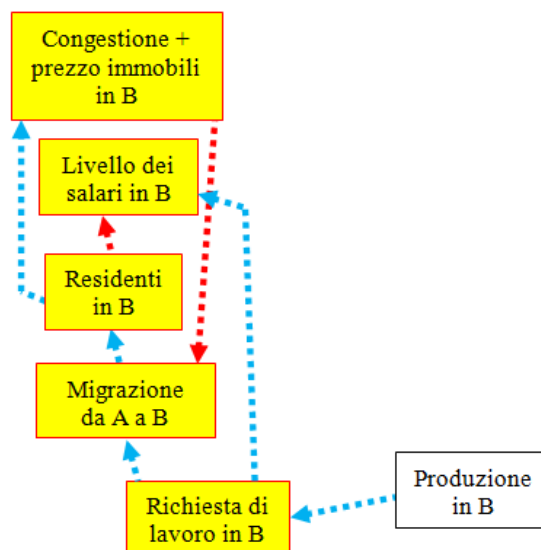


Figura 104 - Impatto di una variazione di produzione sul livello dei salari/residenti

Certo è che cicli rafforzativi e autoregolanti tendono intrinsecamente a susseguirsi nel tempo, generando fenomeni di accentramento industriale e residenziale gli uni e di

decentramento e riequilibrio gli altri. In entrambi i casi, l'assenza o la scarsità di barriere tende a fungere da amplificatore sia della velocità che dell'intensità con cui si realizzano i due opposti fenomeni.

Consideriamo a titolo di esempio, un sistema territoriale composto da zone sostanzialmente equivalenti in termini di livello di industrializzazione, residenti, consumi, salari, ecc. e fortemente interconnesse in termini di facilità di circolazione di passeggeri e merci. Se per una qualunque causa, strutturale e/o casuale, si verifica una rilocalizzazione di una qualche attività produttiva dalla zona B alla zona A, si innescano tutti i cicli prima menzionati che tendono sempre più a deindustrializzare il resto dell'area a vantaggio di A. I cicli rafforzativi della produzione (economie di scala) tendono infatti a prevalere su quelli autoregolanti (aumento dei salari e diminuzione dei prezzi di vendita), mitigati dai fenomeni di migrazione della forza lavoro: tutto ciò tende a generare accentrimento delle attività produttive e residenziali ma anche squilibrio nel livello dei salari e nella distribuzione della ricchezza.

Questi stessi squilibri, d'altra parte, creano prima o poi i presupposti per innescare i cicli autoregolanti. All'aumentare della differenza del livello dei salari tra due zone, infatti, aumenta il vantaggio/opportunità di sviluppare attività produttive nella zona con un basso livello dei salari. Il minore costo di produzione, infatti, tende prima o poi a bilanciare gli svantaggi competitivi di cui necessariamente soffre una zona con un minore tasso di industrializzazione. Alcuni di questi svantaggi, d'altra parte, derivano da un mercato di vendita strutturalmente inferiore (perché minori salari vuol dire anche minore disponibilità a spendere) e sono quindi mitigati in un contesto di esiguità di barriere che rendono "vicino" anche il mercato di vendita della zona più ricca e industrializzata.

Da queste premesse si capisce come il sistema socio-economico del nostro pianeta sia in continua evoluzione e come il sistema economico pre-globalizzazione piuttosto che quello globalizzato odierno non siano altro che due fotografie, scattate in due "momenti" successivi, di questo sistema in continua evoluzione.

5.4 Conclusioni

La descrizione concettuale proposta nei paragrafi 5.2 e 5.3 ha mostrato come variazioni nei costi di trasporto possano innescare complessi meccanismi di retroazione che arrivano ad essere ben più generali rispetto alle sole interdipendenze settoriali, che pure rappresentano come si è visto un deciso passo avanti rispetto alla rappresentazione bipolare offerta dal

modello gravitazionale.

Da un punto di vista di prospettive di ricerca, è evidente che un tentativo naturale di evoluzione verso modelli di interazione complessa tra sistema di trasporto merci e economia è costituito da opportune generalizzazioni del modello MRIO a coefficienti elastici proposto nel paragrafo 3.7. Tale prospettiva è stata esplorata in parte da Kockelman et al. (2005), che hanno provato ad introdurre meccanismi di retroazione legati alla ricerca della forza lavoro e al pendolarismo, nonché a tentare di riprodurre nel meccanismo di aggiornamento dei prezzi gli effetti della saturazione della capacità produttiva di una zona. La loro proposta teorica è però applicata ad uno Stato degli USA (Texas), in un contesto dunque in cui mancano buona parte delle condizioni al contorno (disparità nei salari, incidenza del costo di trasporto sul totale) che hanno invece prodotto i cicli di retroazione su scala globale descritti nel paragrafo 5.3. D'altra parte, nel corso dell'implementazione del MRIO europeo descritto nel paragrafo 3.7.2, si è riscontrato che le tipologie di basi dati messe a disposizione da Eurostat non permettono, almeno all'attualità, di implementare evoluzioni modellistiche con cicli di retroazione complessi.

Guardando al problema direttamente dalle prospettive della NEG, si osserva invece che la rappresentazione dei costi di trasporto adottata dagli economisti nello sviluppo dei loro modelli – che comunque mantengono spesso un forte livello interpretativo e solo raramente scendono al dettaglio quantitativo – è estremamente semplificata e ben lontana da una approfondita modellazione come quella descritta nel Capitolo 2. In conclusione, quindi, appare interessante un filone di ricerca prospettico che miri all'integrazione di questi due ambiti di studio, per verificare da un punto di vista trasportistico se valga la pena sviluppare modelli così complessi per migliorare le stime della domanda di trasporto.

6 CONCLUSIONI

La presente tesi di dottorato ha descritto l'attività di ricerca finalizzata alla predisposizione di un sistema di supporto alle decisioni per la modellazione del sistema di offerta di trasporto merci a scala Euro-Mediterranea, ed ha mostrato alcune applicazioni progettuali e di pianificazione nell'ottica dei soggetti pubblici e privati. In particolare, l'attività di ricerca ha riguardato il modello di offerta e il modello di domanda, nonché alcuni spunti sulle possibilità di integrazione tra modelli trasportistici e modelli macroeconomici.

Il modello di offerta è stato implementato nel corso del primo anno da un punto di vista teorico, di approccio e di basi dati topologiche e analitiche, e nel secondo anno è stata condotta l'attività di implementazione come codice software per permettere l'integrazione col modello di domanda e con gli altri moduli del DSS. In primo luogo si sono implementati separatamente un grafo stradale, uno ferroviario, uno marittimo e uno della navigazione interna, integrati successivamente in un grafo multimodale. È stata trascurata la modalità aerea in quanto il traffico merceologico trasportato via aereo pesa molto poco in quantità rispetto agli altri modi. Ciascuno dei grafi è composto da una parte topologica e una analitica. Per quanto riguarda la parte topologica dei grafi stradale, ferroviario e della navigazione interna, si è partiti da basi piuttosto grezze implementate su supporto GIS. Per il modello topologico del grafo marittimo, invece, non disponendo di alcuna base di partenza, si è seguito un approccio particolare, consistente nella creazione, mediante una procedura semiautomatica, di tutte le possibili connessioni tra tutti i porti delle zone oggetto d'esame. Per quanto riguarda la parte analitica si è reso necessario procedere ad una sostanziale sistematizzazione del modello di offerta per ciascun modo, con specifici avanzamenti rispetto allo stato dell'arte soprattutto relativamente alle funzioni di costo e alle tariffe; in particolar modo, per il mare e per il ferro, si è tenuto conto delle reali tariffe attualmente applicate su ogni tratta. Si sono poi affrontate e risolte le tre problematiche principali evidenziate a livello di singolo modo. Innanzitutto, per quanto riguarda le impedenze sub-additive (ad es. tempi di sosta su strada) ci si è limitati a sviluppare algoritmi di calcolo basati sulle corrispondenti impedenze additive calcolate sul grafo monomodale standard, mentre per quelle non additive si è dovuto adottare un approccio di tipo topologico, rappresentando cioè i singoli percorsi tra coppie o-d o nodi rilevanti (ad es. tra porti o terminali) attraverso archi fittizi. In secondo luogo, per i modi ad accesso discontinuo nel tempo e nello spazio (cioè tutti tranne la strada), si è riconosciuto che da un lato il classico approccio a linee ad ipercammini risulta non

realistico a causa delle bassissime frequenze tipiche dei servizi merci, e d'altra parte non si hanno a disposizione sufficienti dati per una applicazione dell'approccio a corsa. Si è quindi adottata una rappresentazione topologica delle singole linee/servizi⁷⁵, attraverso specifici nodi di linea per ciascuna linea/servizio; ciascuna linea è rappresentata da una stella di archi fittizi che rappresentano tutti i collegamenti tra nodi offerti da quella linea, a ciascuno dei quali sono associate le effettive impedenze non additive. Infine, per rappresentare impedenze di trasbordo nei terminali diverse da quelle di prima salita (ad es. tempi medi di attesa nei terminali diversi nei due casi), si è introdotto un approccio innovativo di duplicazione dei nodi terminali stessi. In altre parole, con riferimento ad esempio al trasporto marittimo, il nodo porto di inizio dello spostamento marittimo ha in uscita solo archi di salita verso servizi marittimi e il corrispondente nodo porto duplicato di fine dello spostamento marittimo contiene solo nodi di discesa da servizi marittimi oppure di salita attraverso transshipment verso ulteriori servizi marittimi. A livello multimodale, i singoli modelli monomodali così sviluppati possono essere integrati con l'approccio noto dalla letteratura, oppure, sfruttando la presenza dei nodi "clonati" prima definita, è possibile introdurre una nuova rappresentazione multimodale che consente di calcolare minimi percorsi costituiti da una predefinita sequenza di modi: tale approccio costituisce, in particolare, un risultato originale di ricerca della tesi. I due approcci sono stati implementati con un codice di calcolo in Visual Basic con lettura dati da Access. Sono state portate a termine anche semplici procedure di validazione del modello di offerta complessivo, confrontando tempi e costi da modello con osservazioni disponibili da fonte, che hanno evidenziato buoni risultati.

Per quanto riguarda la domanda, una prima fase ha riguardato la raccolta di dati sui flussi di traffico per la costruzione delle matrici o-d. Nel campo del trasporto delle merci, infatti, ci sono diverse fonti da cui reperire dati a seconda della dimensione geografica dei flussi: ISTAT per i dati nazionali italiani, Eurostat per i flussi da/verso i Paesi Europei, UNCTAD per il resto del mondo. Una volta raccolti tutti questi dati, separatamente per le quattro modalità di trasporto laddove disponibili, si è resa necessaria una armonizzazione nella suddivisione delle aree geografiche (disaggregazione dei flussi a livello NUTS 3), nella classificazione merceologica (NST/R a 1 cifra) e nelle unità di misura (tonnellate). Parallelamente all'attività di raccolta dei dati o-d, sono stati reperiti anche conteggi di traffico

⁷⁵ Per quanto riguarda il modo mare, l'informazione di partenza è costituita dai servizi marittimi Ro-Ro e containerizzati, attualmente disponibili sul mercato e/o presso istituti di ricerca, che sono stati debitamente aggiornati e risistemati per la messa a punto del modello di offerta marittimo. Per quanto riguarda il trasporto ferroviario e la navigazione interna, invece, non si aveva a disposizione un database di servizi e dunque si è utilizzato un approccio approssimato.

su alcuni archi e nodi delle diverse modalità di trasporto (ad es. flussi autostradali, traffici ferroviari e portuali) utili per il calcolo dei coefficienti di trasformazione dei flussi da tonnellate a veicoli, per le attività di correzione delle matrici o-d e per la validazione del DSS. Le matrici o-d ottenute, oltre a rappresentare una stima di flussi all'attualità, sono state utilizzate per la costruzione dei database di calibrazione del sistema di modelli, e in particolare del modello gravitazionale che ha come variabile dipendente il flusso o-d totale per una data categoria merceologica tra Stati dell'area di studio e come variabili indipendenti masse, impedenze e dummies. Tale modello gravitazionale è stato calibrato con specificazione log-lineare sulle 10 categorie merceologiche con una tecnica di tipo regressivo panel data SURE. In un secondo momento tali flussi tra Paesi sono stati disaggregati in flussi tra zone dell'area di studio attraverso i classici modelli di provincializzazione. Per quanto riguarda invece il modello di scelta modale, si è fatto riferimento ad un modello già calibrato per la realtà italiana.

Si è poi implementato un modello MRIO a livello europeo, in coerenza con quanto riportato nella definizione delle problematiche teoriche e operative alla base della tesi, così da calcolare gli impatti sul PIL di variazioni dell'offerta di trasporto.

Il sistema di modelli costituente il DSS è stato soggetto a validazione, sia nel suo complesso che relativamente ad alcuni sottomodelli componenti. A tal fine si sono utilizzate alcune basi dati disponibili a livello nazionale e internazionale nell'ambito di progetti di ricerca condotti nel dipartimento.

Il sistema di modelli messo a punto è stato infine applicato, in parte e nel complesso, per analisi e attività di progettazione/pianificazione nell'ambito di progetti di ricerca applicata svolti dal gruppo di lavoro in concomitanza con l'ultimo anno di dottorato. Tali applicazioni sono state raccolte in un capitolo della tesi di dottorato, e servono sia a mostrare le potenzialità applicative del DSS sia a condurre un'analisi di alcuni segmenti del mercato dello SSS e dell'intermodalità ferroviaria nel bacino Euro-Mediterraneo. In particolare, sono state presentate le seguenti applicazioni, ciascuna in uno specifico paragrafo:

- una prima analisi ha riguardato le potenzialità di mercato dell'intermodalità ferroviaria a livello italiano e da/verso il resto dell'Europa all'anno 2015, in uno scenario tendenziale di offerta e in diverse ipotesi di crescita economica. Tale applicazione ha richiesto l'aggiornamento del modello di offerta del DSS così da costruire lo scenario di riferimento al 2015, si è poi applicato il modello

gravitazionale al fine di stimare nuove matrici o-d sulla base delle previsioni di variazione del PIL e infine si sono effettuate numerose assegnazioni per definire le linee di desiderio della domanda e individuare le direttrici più promettenti per nuovi servizi ferroviari. Parte dei risultati è stata utilizzata all'interno di un lavoro condotto con KPMG per conto di Interporto Campano e Interporto Bologna;

- una seconda analisi si è soffermata, nell'ambito del trasporto marittimo, sulla valutazione della competitività dei porti italiani - in particolare dell'alto Tirreno e dell'alto Adriatico - rispetto a quelli del nord Europa e sulla stima della domanda potenziale del loro traffico container al 2020, sempre in diverse ipotesi di crescita economica. A tal fine si è innanzitutto utilizzato estensivamente il modello di offerta per effettuare valutazioni di accessibilità ai porti e del loro conseguente bacino di utenza, sia nello scenario attuale sia in scenari futuri di modifiche del sistema di offerta di trasporto merci utilizzato per l'inoltro terrestre dei container. Successivamente, con il modello di domanda si sono stimati i TEU/anno emessi e attratti per zona, selezionando le merceologie di interesse per il container e applicando proiezioni di PIL all'orizzonte temporale di progetto. Infine, combinando le analisi di domanda e di offerta, si è stimata la domanda potenziale complessiva del cluster nord-adriatico e la si è confrontata con le prospettive di sviluppo infrastrutturale dichiarate e/o già finanziate dai porti nell'area;
- la terza applicazione ha riguardato un'analisi ampia delle potenzialità dello SSS nel Mediterraneo, con particolare riferimento all'individuazione di direttrici di interesse per nuovi servizi di tipo Ro-Ro fra l'Italia ed i Paesi dei Balcani e i Paesi della sponda Sud del Mediterraneo rispettivamente, nell'ambito della collaborazione con l'agenzia LOGICA. Per entrambi i progetti è stata inizialmente analizzata la situazione attuale, sia lato offerta sia lato domanda, dopodiché si è proceduto con la verifica di fattibilità di nuove linee stimandone i bacini di domanda e i volumi attratti e quantificandone i costi. Un aspetto interessante è che i due contesti di mercato analizzati sono molto diversi, in particolare per il Mar Adriatico il mercato di sbocco è rappresentato dai Balcani e dall'est Europa ed è caratterizzato da tratte molto corte in cui c'è molta competizione, mentre il collegamento con l'Africa è caratterizzato da tratte molto lunghe e da pochi servizi;

- infine, una quarta applicazione ha riguardato l'analisi dei traffici stradali sui corridoi pan-europei nei Balcani, valutando sia l'effetto dell'ingresso di Romania e Bulgaria nell'UE sia gli interventi progettuali previsti sui corridoi IV, VII e X, in risposta ad una specifica richiesta da parte dell'agenzia LOGICA. Tale applicazione è concettualmente simile alla prima ed ha richiesto l'aggiornamento dell'offerta allo scenario temporale di progetto, l'applicazione del modello di domanda per la stima delle corrispondenti matrici future ed infine un'assegnazione per il calcolo dei flussi negli scenari di progetto.

Come si nota, tali applicazioni hanno coperto un ventaglio ampio di modalità di trasporto, hanno una diversa copertura geografica e temporale, e hanno richiesto l'utilizzo di parti e dell'intero DSS a seconda dei casi. Inoltre, attraverso esse si è potuto accedere a numerose basi dati che hanno permesso ulteriori validazioni ed affinamenti del DSS, in termini sia di capacità di riprodurre lo scenario attuale sia di elasticità nelle variazioni degli scenari di progetto.

La ricerca ha infine affrontato in termini descrittivi l'estensione dai modelli MRIO verso i modelli della New Economic Geography (NEG), con l'obiettivo di tracciare una ulteriore futura linea di ricerca verso una rappresentazione estremamente realistica delle interazioni tra il sistema di offerta di trasporto merci e il sistema economico globale.

BIBLIOGRAFIA

- Abdelwahab, W. (1998), *Elasticities of mode choice probabilities and market elasticities of demand: evidence from a simultaneous mode choice/shipment- size freight transport model*, Transportation Research E, vol. 34/4, pp. 257-266.
- Aitken, N.D. (1973) *The effect of the EEC and EFTA on European Trade: A Temporal Cross-Section Analysis*, American Economic Review, 63(5), 881- 892.
- Anderson, J.E., van Wincoop, E. (2004) *Trade Costs*, Boston College Working Papers in Economics 593, Boston College Department of Economics.
- Antonucci, D., Manzocchi, S. (2006) *Does Turkey have a special trade relation with the EU? A gravity model approach*. Economic Systems, 30, 157-169.
- Aponte, D., Iannone, F., Papola, A. (2006), *A Schedule-Based Methodology Proposal for Sea Motorways Feasibility Evaluation*, submitted to the second workshop on the Schedule-Based approach in Dynamic Transit Modelling.
- Archibugi, D., Cogo, A. (2002). *A new indicator of technological capabilities for developed and developing countries*, Italian National Research Council, Mimeo, Italy.
- Argyrou, M.G. (2000). *EU participation and the external trade of Greece: an appraisal of the evidence*. Applied Economics, 32, 151-159.
- Arnold, P., Peeters, D., Thomas, I. (2004) Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 40 (3), pp. 255-270, 35.
- Augier P., Gasiorek, M., Lai Tong, C. (2005) *Rules of Origin-The impact of rules of origin on trade flows*. Economic Policy, 567-624.
- Baltagi, B.H., Egger, P., Pfaffermayr, M. (2003) *A generalized design for bilateral trade flow models*. Economics Letters, 80, 391-397.
- Bergstrand, J.H. (1985) *The Gravity Equation in International Trade: Some Microeconomic Foundations and Empirical Evidence*, Review of Economics & Statistics, Vol. 67, 474-481
- Beuthe, M., Jourquin B., Geerts J.F., Koul à Ndjang'ha, Ch. (2001) *Freight transportation demand elasticities: A geographic multimodal transportation network analysis*,

Transportation Research E Vol. 37E, No. 4, 253-266.

Bontekoning, Y., Macharis, C., Trip, J.J. (2004), *Is a new applied transportation research field emerging? – A review of intermodal rail-truck freight transport literature*. Transportation Research A, vol. 38/1.

Breuss F., Egger P. (1999) *How Reliable Are the Estimations of East-West Trade Potentials Based on Cross-Section Gravity Analyses?*. Empirica, 26: 81-94.

Buch, C.M., Piazolo, D. (2001) *Capital and trade flows in Europe and the impact of enlargement*. Economic Systems, 25, 183-214.

Bun, M.J.G. and Klaassen, F.J.G.M. (2007) *The Euro Effect on Trade is not as Large as Commonly Thought*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 69, 4, 473-496.

Bun, M.J.G., Klaassen, F.J.G.M. (2002), *The Importance of Dynamics in Panel Gravity Models of Trade*, mimeo, University of Amsterdam.

Carrere, C. (2006) *Revisiting the effects of regional trade agreements on trade flows with proper specification of the gravity model*. European Economic Review, 50, 223-247.

Cascetta, E., Marzano, V., Papola, A., (2007). *Multi Regional Input-Output models for freight demand simulation at a national level*. Atti del WCTR Conference, 20-24 June 2007, Berkeley.

Cascetta, E. (2009) *Transportation systems analysis*.

Cascetta, E., Iannò, D. (1998) *Calibrazione aggregata di un sistema di modelli di domanda merci a scala nazionale*. Proceedings of the Annual Meeting on “Metodi e tecnologie dell’ingegneria dei trasporti”, Reggio Calabria, Italy.

Chenery, H. (1953) *The structure and growth of the Italian economy*. Regional Analysis (Chenery H., Clark P., eds.), United States Mutual Security Agency, Rome.

Chindemi, A. (2004). *Accessibilità dei nodi intermodali del trasporto merci*. Tesi di Dottorato, Università “Mediterranea” di Reggio Calabria.

Crainic. T.G. (1999), *Long-Haul Freight Transportation, Handbook of Transportation Science*, R.W. Hall (ed.), 433-491, Kluwer Academic Publishers.

- Daugherty, A. (1979) *Freight transport demand revisited: a microeconomic view of multimodal, multicharacteristics service uncertainty and the demand for freight transport*. Transportation Research, 13B.
- De Jong, G., Gayda, S., Papola, A., Algers, S., Hovi, I.B, Klinge, L., Polak, J., Fröhlich, Ph. (2004), *The EXPEDITE project: applying meta-models for passenger and freight transport in Europe*, Vortrag, Proceedings of the 10th World Conference on Transport Research, Istanbul 2004.
- De Jong, G., Gunn, H., Walker, W. (2004) *National and international freight transport models: An overview and ideas for future development*, Transport Reviews 24 (1), pp. 103-124.
- De Jong, G. (2000), *Value of freight travel time savings*, Handbooks in Transport, Volume I: Transport Modelling (Hensher, D.A and K. Button, Eds.), Pergamon, Amsterdam.
- De Jong, G., Ben-Akiva, M. (2007) *A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice*, Transportation Research Part B, vol.31, no.9, pp.950-965
- De la Barra, T. (1989) *Integrated Land Use and Transport Modelling*. Cambridge University Press.
- Deardoff, A. (1998): *Determinants of Bilateral Trade: Does Gravity Work in A Neoclassical World?* In: J.A. Frankel, ed. The Regionalization of the world economy. University of Chicago Press, Chicago.
- Egger, P. (2002) *An Econometric View on the Estimation of Gravity Models and the Calculation of Trade Potentials*, The World Economy, 25, 2, 297–312.
- Egger, P. (2004) *Estimating Regional Trading Bloc Effects with Panel Data*. Review of World Economics, Vol. 140 (1), 151-166.
- Elliott, D.R. (2007) *Caribbean Regionalism and the Expectation of Increased Trade: Insights from a Time-Series Gravity Model*. The Journal of International Trade & Economic Development, Vol. 16, No. 1, 117-136.
- Endoh, M. (1999). *Trade creation and trade diversion in the EEC, the LAFTA and the CMEA: 1960-1994*. Applied Economics, 31, 207-216.

- Evenett, S.J., Keller, W. (1998). *On Theories Explaining the Success of the Gravity Equation*, NBER Working Papers 6529, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Fan, W., Treyz, F., Treyz G. (2000) *An evolutionary new economic geography model*. Journal of Regional Science, 40, 671-695.
- Feenstra, R.C., Markusen, J.R., Rose, A.K. (2001) *Using the gravity equation to differentiate among alternative theories of trade*. Canadian Journal of Economics, 34:2, 430-447.
- Filippini, C., Molini, V. (2003) *The determinants of East Asian trade flows: a gravity equation approach*. Journal of Asian Economics, 14, 695-711.
- Frankel, J.A. (1997) *Regional Trading Blocs in the World Economic System*.
- Friesz, T.L., Harker, P.T.(1985), *Freight network equilibrium: a review of the state of the art*, Analytical studies in transportation economics, Daughety A.F. (ed.), Cambridge University Press, New York.
- Friesz, T.L., Tobin, R.L., Harker, P.T. (1983), *The state of the art in predictive freight network models*, Transportation Research A, vol. 17/6, pp. 409-417.
- Fukao, K., Okubo, T., Stern, R.M. (2003) *An econometric analysis of trade diversion under NAFTA*. North American Journal of Economics and Finance. 14, 2-24.
- Gallo, M., Simonelli, F., Marzano, V. (2012) *An empirical comparison of parametric and non parametric trade gravity models*, Proceedings of the 91° TRB meeting Washington.
- Glick, R., Rose, A.K. (2002) *Does a currency union affect trade? The time-series evidence*. European Economic Review, 46, 1125-1151.
- Gopinath, M., Echeverria, R. (2004) *Does Economic Development Impact the Foreign Direct Investment-Trade Relationship? A Gravity-Model Approach*. Amer. J. Agr. Econ., 86(3): 782-787.
- Harker, P.T., Friesz T. (1986) *Prediction of intercity freight flows*. Transportation Research, 20B.
- Harrigan, J. (2001) *Specialization and the Volume of Trade: Do the Data Obey the Laws?* NBER Working Papers 8675, National Bureau of Economic Research, Inc.

- Helpman, E., (1987) *Imperfect competition and international trade: Evidence from fourteen industrial countries*. Journal of the Japanese and International Economies, 1, 62-81.
- Hunt, J. D., Echenique, M.H. (1993) *Experiences in the Application of the MEPLAN Framework for Land Use and Transportation Interaction Modeling*. Proceedings of the 4th National Conference on the Application of Transportation Planning Methods, Daytona Beach, FL, pp. 723-754.
- Hunt, J.D. (1993) *A description of the MEPLAN framework for land use and transport interaction modeling*. Proceedings of the 73rd TRB Meeting, Washington.
- ISTAT. Conto Nazionale Trasporti (vari anni), www.istat.it
- Iwanow, T. and Kirkpatrick, C. (2007) *Trade Facilitation, Regulatory, Quality and Export Performance*. Journal of International Development, 19, 735-753.
- Izard, W. (1951) *Interregional and regional input-output analysis: a model of space economy*. The Review of Economics and Statistics, 33, 318-328.
- Izard, W., Azis, I.J., Drennan, M.P., Miller, R.E, Saltzman, S., Thorbecke, E. (1998) *Methods of Interregional and Regional analysis*. Ashgate Publishing Company.
- Jin, L., Kockelman, K., Zhao, Y. (2003) *Tracking Land Use, Transport, and Industrial Production using Random-Utility based Multizonal Input-Output Models: Applications for Texas Trade*. Proceedings of the 82nd TRB Meeting, Washington
- Juri, N.R., Kockelman, K. (2005) *Evaluation of the Trans-Texas Corridor Proposal: Application and Enhancements of the RUBMRIO Model*. Proceedings of the 84th TRB Meeting, Washington.
- Kalirajan, K. (1999) *Stochastic varying coefficients gravity model: an application in trade analysis*. Journal of Applied Statistics, Vol. 26, No. 2, 185-193.
- Kalirajan, K. (2007) *Regional Cooperation and Bilateral Trade Flows: An Empirical Measurement of Resistance*. The International Trade Journal, 21:2, 85-107.
- Kandogan, Y. (2005) *Evidence for the Natural Trade Partners Theory from the Euro-Mediterranean Region*. University of Michigan-Flint School of Management. Working Paper Series, No.2005-01.

- Kang H., Fratianni, M. (2006) *International Trade, OECD Membership, and Religion*. Open economies review, 17, 493-508.
- Kangas K., Niskanen A. (2003) *Trade in forest products between European Union and the Central and Eastern European access candidates*. Forest Policy and Economics, 5, 297-304.
- Kepaptsoglou, K., Tsamboulas, D., Karlaftis, M., Marzano, V., (2009). *Free Trade Agreement Effects in the Mediterranean Region: An Analytic Approach Based on SURE Gravity Model*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2097, pp 88-96.
- Kucera, D., and Sarna, R. (2006) *Trade Union Rights, Democracy, and Exports: a Gravity Model Approach*, Review of International Economics, Vol. 14, Issue 5, 859-882.
- Kurihara, Y. (2002). "APEC: International trade and output". *Pacific Economic Review*, 8:3 207-217.
- Lee, H., Park I. (2007) *In Search of Optimised Regional Trade Agreements and Applications to East Asia*. The World Economy, 783-806.
- Liew, Ch.J., Liew Ch.K. (1984) *Multimodal, multioutput, multiregional variable input-output model*. Regional science and urban economics, 14, 265-281.
- Linneman, H. (1966) *The Gravity Equation in International Trade: Some Microeconomic Foundations and Empirical Evidence*. The Review of Economics and Statistics, 67(3), 474-481.
- Longo, R. and Sekkat, K. (2004) *Economic Obstacles to Expanding Intra-African Trade*. World Development, Vol. 32, No. 8, 1309-1321.
- Martinez-Zarzoso, I. and Suarez-Burguet, C. (2005) *Transport Costs and Trade: Empirical Evidence for Latin American Imports from the European Union*. The Journal of International Trade & Economic Development, 14:3, 353-371..
- Marzano V. and Papola A. (2004), *Modelling freight demand at a national level: theoretical developments and application to Italian demand*, Proceedings of 2004 ETC Conference, Strasbourg.

- Marzano, V., Papola, A. (2010) *SIMPT second release: theoretical properties*.
- Mazzarino, M. (1997). *Modelling freight transport demand*, Trasporti Europei, 5.
- Miller, R.E., Blair, P.D. (1985) *Input output analysis: foundations and extensions*. Prentice-Hall, New York.
- Min, Y., Kockelman, K.M., Zhao, Y., and L. Jin (2001) *Models of location, trade & travel: an application of random utility based interzonal input-output models*. Proceedings of the 48th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International.
- Montella, B. (1996) *Pianificazione e controllo del traffico urbano*.
- Moses, L.N. (1955) *The stability of interregional trading patterns and input-output analysis*. American Economic Review, 45, 803-832.
- Musila J.W. (2005) *The Intensity of Trade Creation and Trade Diversion in COMESA, ECCAS and ECOWAS: A Comparative Analysis*. Journal of African Economies, Vol. 14, No. 1, 117-141.
- Nagurney, A., Dong, J., Mokhtarian, P.L. (2002) *Multicriteria network Equilibrium modeling with variable weights for decision-making in the information age, with applications to telecommuting and teleshopping*. Journal of Economic Dynamics and Control, 26 (9-10):1629-1650.
- Nitsch, V. (2000) *National borders and international trade: evidence from the European Union*. Canadian Journal of Economics, Vol. 33, No. 4, 1091-1105.
- Nowak-Lehmann, F., Herzer, D., Martinez-Zarzoso, I., Vollmer, S. (2007) *The Impact of a Customs Union between Turkey and the EU on Turkey's Exports to the EU*. JCMS Journal of Common Market Studies, 45:3, 719-743.
- Nuzzolo, A., Russo, F. (1997b), *Modal split at international level: A system of models for Italian-based freight*, Proceedings of 25th European Transport Forum, PTRC, London.
- Oum, T. H. (1979), *A warning on the use of linear logit models in transport mode choice studies*, Bell Journal of Economics, vol. 10/1, pp. 374-388.
- Paas, T., Tafenau, E. (2005) *Regional Trade Clusters in Promoting Eastward Enlargement of European Union*. Transition Studies Review, 12 (1): 77-90.

- Pallottino, S. and Scutellà, M. (1998), *Shortest path algorithms in transportation models: classical and innovative aspects*, Equilibrium and Advanced Transportation Modeling, Kluwer (ed).
- Pelletiere, D., Reinert, K.A. (2004) *Used automobile protection and trade: Gravity and ordered probit analysis*. Empirical Economics, 29: 737-751.
- Pendyala, R. and Shankar, V. (2000), *Freight travel demand modeling: synthesis of research and development of multi-level conceptual frameworks*, Proceedings of the 9th IATBR congress, Queensland, Australia.
- Péridy, N. (2005) *Toward a Pan-Arab free trade area: assessing trade potential effects of the Agadir agreement*. The Developing Economies, XLIII-3: 329-45.
- Picard, G. and S. Nguyen (1987) *Estimation of interregional freight flows using input-output analysis*. In Freight transport planning and logistics (L. Bianco e A. La Bella eds.).
- Porojan, A. (2001) *Trade Flows and Spatial Effects: The Gravity Model Revisited*. Open economies review, 12: 265-280.
- Pulliainen, K. (1963) *A World Trade Study: An Econometric Model of the Pattern of Commodity Flows of International Trade in 1948-60*. Economiska Samfundets, Tidskrift 16, 78-91
- Quattrone, A., Vitetta, A. (2010) *Random and fuzzy utility route choice models for road freight transport at National level*, in: Fusco, Models and technologies for intelligent transportation system, aracne, Salerno (ITA), pp. 282-285.
- Regan, A. and R.A. Garrido (2002) *Modelling freight demand and shipper behaviour: state of the art and future directions*. In: The leading edge of travel behaviour research.
- Regan, A.C., Garrido, R. (2001), *Freight Demand and Shipper Behavior Modeling: State of the Art*, Directions for the Future, in Hensher, D.A. and King, J. (eds) Travel Behavior Research, the Leading Edge, Pergamon Press, Oxford, pp. 185-216.
- Roberts, B.A. (2004) *A gravity study of the proposed China-Asean free trade area*. The International Trade Journal, 18:4, 335-353.
- Rose, A.K. (2000) *Currency Unions-One money, one market: the effect of common currencies*

- on trade*. Economic Policy, 7-45.
- Roson, R. (1993) *A multiregional network general equilibrium model*. Proceedings of Transportation and General Equilibrium Models workshop, Venice.
- Russo, F. (2002). *Modelli per l'analisi dei sistemi di trasporto merci a scala nazionale*. Franco Angeli, Ed.
- Russo, F. (2005), *Sistemi di trasporto merci: approcci quantitativi per il supporto alle decisioni di pianificazione strategica tattica ed operativa a scala nazionale*, Franco Angeli (ed), Milano, Italy.
- Russo, F., Cartenì A. (2005), *Application of a tour-based model to simulate freight distribution in a large urbanized area*, Proceedings of 4th International Conference on City Logistics, Langkawi, Malaysia.
- Sapir, A. (2001) *Domino effects in Western European regional trade, 1960-1992*. European Journal of Political Economy, Vol. 17, 377-388.
- Sheffy, Y. *Urban transportation networks*. Prentice – Hall, Englewoods Cliffs, NY, 1985.
- Sohn, C-H. (2005) *Does the gravity model explain South Korea's trade flows?*. The Japanese Economic Review, Vol. 56, No. 4, 417-430.
- Tang, D. (2005) *Effects of the Regional Trading Arrangements on Trade: Evidence from the NAFTA, ANZCER and ASEAN Countries, 1989-2000*. The Journal of International Trade & Economic Development, Vol. 14, No.2, 241-265.
- Tavasszy, L., Groothedde, B., Ruijgrok, C. (2000), *Aggregate models of spatial logistics*, Proceedings of RIRL 2000.
- Tavasszy, L.A., Minderhoud, M. (2009) *Strategic Port Choice Model for Worldwide Container Flows*, Transportation Research Board.
- Tavasszy, L.A., Thissen, M.J.P.M., Muskens, A.C., Oosterhaven, J. (2002) *Pitfalls and solutions in the application of spatial computable general equilibrium models for transport appraisal*. Proceedings of the European Regional Science Association conference.
- Thorpe, M., Zhang, Z. (2005) *Study of the Measurement and Determinants of Intra-industry Trade in East Asia*. Asian Economic Journal, Vol. 19, No. 2, 231-247.

- Timbergen, J. (1962). *Shaping the World Economy*, Twentieth Century Fund, New York.
- Timmermans, H. (2003) *The saga of integrated land use-transport modelling: how many more dreams before we wake up?* Proceedings of the 10th International Conference on Travel Behaviour Research.
- Wan, G.H., Griffiths, W.E. and Anderson, J.R. (1992) *Using Panel Data to Estimate Risk Effects in Seemingly Unrelated Production Functions*, *Empirical Economics*, 17, 35-49.
- Wilson, J.S., Mann, C.L., Otsuki, T. (2003) *Trade Facilitation and Economic Development: A New Approach to Quantifying the Impact*. *The World Bank Economy Review*, Vol. 17, No. 3, 367-389.
- Zellner, A. (1962) *An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regression and Tests for Aggregation Bias*, *Journal of the American Statistical Association*, 57, 348-368.
- Zhao, Y., Kockelman K.M. (2004). *The random utility based multiregional input-output model: solution existence and uniqueness*. *Transportation Research*, 38B, 789-807.
- Zlatoper, T. and Z. Austrian (1989) *Freight transport demand: a survey of recent econometric studies*. *Transportation*, 16.